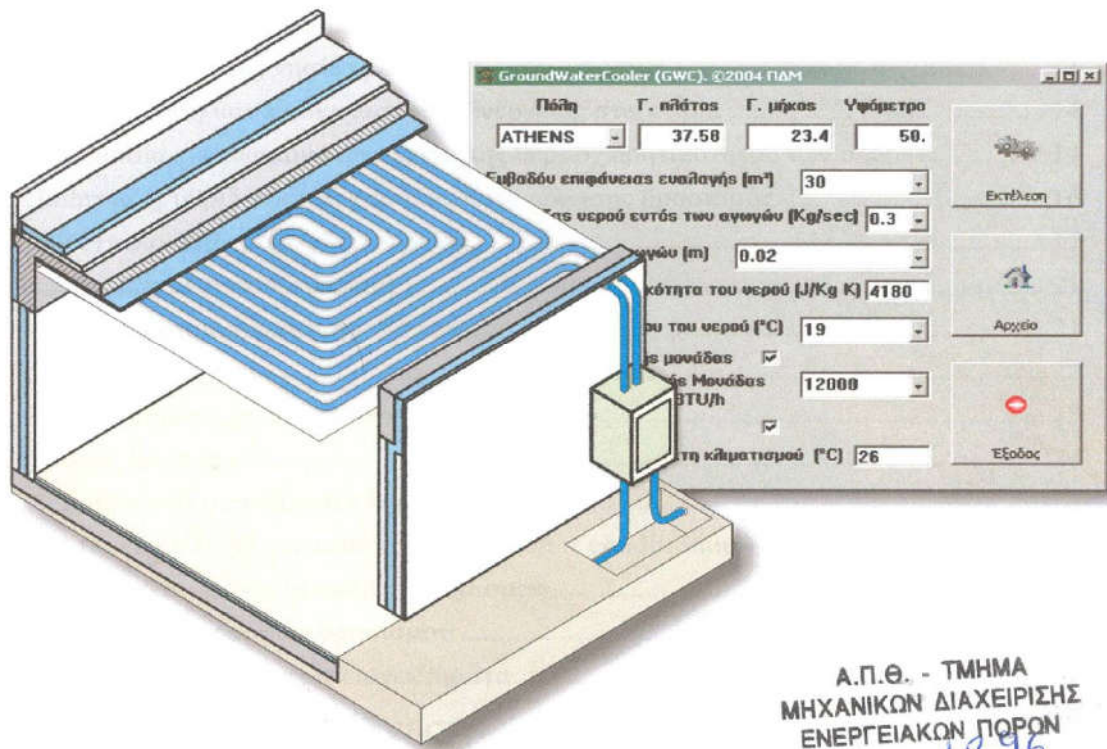




ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Δροσισμός κτιρίου
με απευθείας χρήση υπογείων υδάτων
σε οροφή δροσισμού**



Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.: 1296
Ημερομηνία: 7/10/04

Κυριακίδης Απόστολος
Α.Ε.Μ. 48

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Καθηγητής: Τομπουλίδης Ανανίας

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	1
1. Αρχιτεκτονική του κτιρίου και Ενέργεια	2
2. Βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων	3
3. Βιοκλιματικός σχεδιασμός ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας	4
4. Το κτιριακό περιβάλλον	6
5. Συμπεράσματα	7
Κεφάλαιο 2. Δροσισμός χαμηλής κατανάλωσης	9
1. Ενεργειακή κατανάλωση	10
2. Φαινόμενα αστικής νησίδας και άρρωστου κτιρίου	11
3. Εξοικονόμηση και Υποκατάσταση Ενέργειας στα κτίρια	14
Α. Σημασία της θερμομόνωσης και της θερμοχωρητικότητας των υλικών	14
4. Παθητικός, υβριδικός και χαμηλής κατανάλωσης δροσισμός	16
Α. Τεχνολογίες: τρόπος λειτουργίας	17
5. Δροσισμός μέσω του εδάφους	21
Α. Πώς χρησιμοποιείται η ενέργεια του εδάφους	21
Β. Πλεονεκτήματα	22
C. Προβλήματα με την ενέργεια από το έδαφος	23
6. Οροφές δροσισμού	24
Α. Συμβατικά συστήματα κλιματισμού	25
Β. Μια νέα ιδέα κλιματισμού του αέρα (air – conditioning)	25
C. Πώς λειτουργούν οι οροφές δροσισμού	26
D. Αντίκτυπος οροφών δροσισμού	27
E. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	34
Κεφάλαιο 3. Θερμική Άνεση	35
1. Θερμική άνεση	36
Α. Εισαγωγή	36
Β. Αποδεκτές συνθήκες για θερμική άνεση	37
C. Εκτίμηση της θερμικής άνεσης - Οι δείκτες PMV και PPD	46
2. Οπτική άνεση	50
Κεφάλαιο 4. Πορεία και ανάλυση της εργασίας	51
1. Πορεία και προβλήματα που προέκυψαν	52

A. Ανεπαρκής βιβλιογραφία	52
B. Ελλιπής γνώση σε πανεπιστημιακό επίπεδο	53
C. Πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία των υπογείων υδάτων	54
2. Αντιμετώπιση των προβλημάτων / Παραδοχές.....	55
A. Ύπαρξη γεώτρησης και αντλίας.....	55
B. Νομιμότητα της γεώτρησης.....	56
C. Θερμοκρασία υπογείων υδάτων	56
D. Ύπαρξη αντλίας για την κυκλοφορία του νερού στην οροφή.....	56
E. Καθαρότητα – καταλληλότητα του νερού.....	57
F. Απόθεση του νερού μετά τη χρήση του	57
3. Συγγραφή υπολογιστικού κώδικα, προβλήματα και διεκπεραίωσή τους	58
A. Περιορισμός δεδομένων στο SUNCODE – PC	58
B. Θερμοστάτης κλιματισμού	59
C. Τρόπος θερμικής σύζευξης του συστήματος GWCooling με SUNCODE – PC ..	60
D. Διαδικασία υπολογισμού GWCooling	62
4. Σύνοψη κεφαλαίου – συμπεράσματα.....	63

Κεφάλαιο 5. Μοντέλο προσομοίωσης και σύζευξή του με το SUNCODE – PC..... 65

1. Μέθοδοι θερμικής ανάλυσης	66
2. Εφαρμογή της προσομοίωσης σε κτίρια.....	67
A. Η φιλοσοφία λειτουργίας τού προσομοιωτικού προγράμματος.....	67
3. Περιγραφή εισαγόμενων δεδομένων SUNCODE-PC	69
4. Περιγραφή αποτελεσμάτων προσομοίωσης SUNCODE-PC	71
5. Περιγραφή διαδικασίας προσομοίωσης για το εξεταζόμενο κτίριο.	72
A. Στόχος της διαδικασίας προσομοίωσης.	72
B. Η πραγματοποίηση των συγκριτικών ελέγχων.....	72
6. Οι παραδοχές της προσομοίωσης	73
A. Περιγραφή του σπιτιού.....	73
B. Θερμική μόνωση του κτιρίου	74
C. Χρήση του κτιρίου και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά	75
D. Καθορισμός θερμικών ζωνών κτιρίου.....	76
E. Παράμετροι περιβάλλοντα χώρου	77
Ανακλαστικότητα του εδάφους	77
Εμπόδια ηλιασμού	78

Αερισμός ζώνης	78
Εσωτερικά κέρδη ζώνης	79
Σκιασμός ζώνης	80
Περιγραφή αδιαφανών δομικών στοιχείων	82
Περιγραφή εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου	83
Μεταβλητές παράμετροι προσομοίωσης	84
Κλιματικά δεδομένα	84
Κεφάλαιο 6. Περιγραφή της διάταξης	87
1. Περιγραφή της διάταξης	88
2. Κατασκευαστική περιγραφή του συστήματος	88
Α. Χώρος τοποθέτησης της αντλίας	91
Β. Διάταξη συστήματος GWCooling στην οροφή δροσισμού	92
C. Απομάκρυνση του νερού	99
3. Αρχή λειτουργίας του συστήματος και λειτουργική περιγραφή του	100
4. Περιγραφή του κώδικα για την προσομοίωση της διάταξης	102
Α. Κεντρικό περιβάλλον εργασίας εφαρμογής	103
Β. Βασικός αλγόριθμος	108
C. Υπόλοιπα υποσύνολα (modules)	110
5. Κατανάλωση κατοικίας με χρήση μόνο συμβατικής κλιματιστικής μονάδας	112
6. Περιγραφή του συνόλου του υπολογιστικού κώδικα	113
Κεφάλαιο 7. Παραμετρική ανάλυση του συστήματος	117
1. Επιλογή παραμέτρων	118
2. Κατασκευαστικές παράμετροι	119
Α. Επιφάνεια εναλλαγής	119
Β. Διάμετρος σωληνώσεων	122
C. Ισχύς κλιματιστικού	124
3. Γενικές παράμετροι	126
Α. Παροχή υπογείων υδάτων	126
Β. Θερμοκρασία εισαγωγής υπογείων υδάτων	127
C. Θερμοκρασία ορισμού του θερμοστάτη	130
4. Σύνοψη κεφαλαίου – συμπεράσματα	131
Κεφάλαιο 8. Αποτελέσματα προσομοίωσης	133
1. Σύγκριση συμβατικής κατάστασης και συστήματος GWCooling	134

A. Θερμοκρασία χώρου.....	134
B. Σχετική υγρασία	136
C. Δείκτες θερμικής άνεσης	137
D. Ενέργεια που δαπανάται.....	139
2. Παραμετρική ανάλυση του συστήματος GWCooling	144
A. Επιφάνεια εναλλαγής	144
B. Παροχή μάζας.....	145
C. Διάμετρος των αγωγών.....	146
D. Θερμοκρασία εισαγωγής του νερού	147
3. Σύγκλιση τιμών και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.....	148
A. Σύγκλιση τιμών κατά τα βήματα της προσομοίωσης.....	149
B. Σύγκριση τιμών από SUNCODE και κώδικα	150
4. Σύνοψη κεφαλαίου, συμπεράσματα	151
Κεφάλαιο 9. Οικονομοτεχνική μελέτη	153
1. Ανάλυση ενεργειακής κατανάλωσης	154
A. Κατανάλωση υβριδικού συστήματος	154
B. Κατανάλωση κλιματιστικού συστήματος	163
C. Ενεργειακή σύγκριση των δύο συστημάτων	163
2. Μελέτη οικονομικής βιωσιμότητας	164
A. Κόστος εγκατάστασης.....	164
B. Λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης.....	168
C. Μέθοδος καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ).....	169
3. Εξέταση του συστήματος GWCooling ως αυτόνομο σύστημα κλιματισμού.	171
A. Ενεργειακή σύγκριση	174
B. Οικονομική σύγκριση.....	174
C. Διάρκεια αποπληρωμής.....	175
4. Οικονομική αποτίμηση	175
Κεφάλαιο 10. Συμπεράσματα, προτάσεις και επίλογος	179
Βιβλιογραφία	185
Παράρτημα 1	
Παράρτημα 2	

Αγαπητέ αναγνώστη,

Η εργασία που κρατάς στα χέρια σου είναι το τελικό προϊόν μιας μεγάλης προσπάθειας που ξεκίνησε ένα χρόνο πριν. Ήταν μια ιδέα για ένα σύστημα δροσισμού που δεν έχει εφαρμοσθεί ακόμη ολοκληρωμένο.

Το εν λόγω σύστημα εκμεταλλεύεται τη χαμηλή ενθαλπία των υπογείων υδάτων και τη σταθερή θερμοκρασία τους για την απορρόφηση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο μιας κατοικίας. Το υπόγειο νερό θα κυκλοφορεί σε σωληνώσεις που θα είναι στερεωμένες στην οροφή του κτιρίου εσωτερικά του χώρου.

Η αδυναμία του γράφοντος για τη συλλογή απαραίτητων πληροφοριών του ανέγκασε στην ανάπτυξη αλγόριθμου για την προσομοίωση της όλης διάταξης για ολόκληρη την περίοδο κλιματισμού. Τελικά, έπειτα από μια σειρά επιτυχημένων, αλλά και αποτυχημένων, προσπαθειών η μελέτη έφτασε στο τέλος της. Το σύστημα δροσισμού μπορεί πλέον να προσομοιωθεί, έχει κατασκευαστικές λύσεις και έχει γίνει και μια προκαταρκτική μελέτη για την οικονομικότητά του.

Απομένουν μερικά πιο εμπειριστατωμένα βήματα για την αξιοποίηση μιας τεχνικής που μπορεί να αποφέρει εξοικονόμηση ενέργειας έως και 75 %. Ελπίζω να συνεχισθεί μια προσπάθεια που, τώρα που έφτασα στο τέρμα, με γεμίζει χαρά και ευτυχία.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Ανανία Τομπουλίδη, διότι δέχθηκε να αναλάβει μια διπλωματική εργασία χωρίς να είναι σίγουρος για την τελική της έκβαση. Με την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατάλαβα το χρέος που είχα επωμισθεί και προσπάθησα να τον δικαιώσω με τον καλύτερο τρόπο που μπορούσα.

Επίσης, αισθάνομαι υπόχρεος στον Δρ. Θεόδωρο Θεοδοσίου, καθηγητή μου στο τελευταίο έτος σπουδών, για την υπερπολύτιμη βοήθειά του σε όλους τους τομείς της εργασίας. Υπήρξε ένας μεγάλος δάσκαλος, όχι μόνο γιατί μου παρείχε τεράστια βοήθεια σχετικά με την εργασία, αλλά διότι μου έμαθε μέσα από δυσκολίες να βρίσκω θετικά σημεία και να τα αξιοποιώ με τον καλύτερο τρόπο. Και αυτό είναι μάθημα ζωής και έχει διάρκεια μεγαλύτερη ενός πολυτεχνείου.

Ευχαριστώ τους συγγενείς, φίλους και γνωστούς που με είδαν σκυμμένο πάνω από ένα σωρό χαρτιά και με σεβάστηκαν δίνοντας μου το χώρο και το χρόνο που χρειαζόμουν.

Ευχαριστώ, τέλος, και εσένα που δέχτηκες να δώσεις κάποιο από τον, πολύτιμο με τους σύγχρονους ρυθμούς, χρόνο σου για να διαβάσεις αυτές τις σελίδες λέξεων και αριθμών, χωρίς καν να ξέρεις αν αξίζει τον κόπο.

Ελπίζω αυτό το επιστημονικό πεδίο να βρει και άλλους υποστηρικτές που να πιστεύουν σε αυτό, διότι το υπέδαφος είναι όντως μια τεράστια και ανεξάντλητη πηγή δροσιάς το καλοκαίρι και θερμότητας το χειμώνα.

Καλή συνέχεια...

Κεφάλαιο

1

Εισαγωγή

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

1. Αρχιτεκτονική του κτιρίου και Ενέργεια	2
2. Βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων	3
3. Βιοκλιματικός σχεδιασμός ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας.....	4
4. Το κτιριακό περιβάλλον.....	6
5. Συμπεράσματα	7

1. Αρχιτεκτονική του κτιρίου και Ενέργεια

Είναι γενικά γνωστό ότι κατά τη διαδικασία σχεδιασμού των κτιρίων, ο μελετητής - αρχιτέκτονας συνήθως - παίρνει υπόψη του μία σειρά παραμέτρους και καθορίζει κριτήρια και προτεραιότητες που επηρεάζουν καθοριστικά την "ιδέα" του κτιρίου. Έτσι, ξεκινώντας από το θεσμικό πλαίσιο (κανονισμούς και νόμους), το κτιριολογικό πρόγραμμα, τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του φορέα, το διαθέσιμο οικόπεδο, την έκταση του κτιρίου, προχωρά και παίρνει υπόψη του τα χαρακτηριστικά του μικροπεριβάλλοντος (δομημένο περιβάλλον, μορφολογία εδάφους, θέα), τα οικονομικά δεδομένα κ.α. Με τη συλλογή των παραπάνω πληροφοριών ο μελετητής διαμορφώνει την "κεντρική ιδέα του κτιρίου" μεταφέροντας παράλληλα και τις πρώτες σκέψεις του στο χαρτί. Με τη διαδικασία αυτή αρχίζει το κτίριο να αναπτύσσεται σε τρεις διαστάσεις (κατόψεις, όψεις, τομές) να εντάσσεται στο περιβάλλον του και να αποκτά μορφή.

Τα τελευταία βέβαια χρόνια στο γενικότερο προβληματισμό για την αρχιτεκτονική σύνθεση μπήκε δυναμικά και ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων. Η τάση αυτή αμφισβητήθηκε, δέχθηκε έντονη κριτική, ενώ δεν ήταν και λίγες οι φορές που απορρίφθηκε από μεγάλη ομάδα αρχιτεκτόνων. Πιστεύεται ότι το πρόβλημα ξεκίνησε από την εποχή που τα ενεργειακά ζητήματα ήταν ακόμη στη φάση της επιστημονικής αναζήτησης και ωρίμανσης και τα παραδείγματα στον κτιριακό τομέα δεν ήταν πράγματι τα καλύτερα που είχε να επιδείξει κανείς. Ίσως το μόνο που ενδιέφερε τα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης της "βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής" τη δεκαετία του '80, ήταν να αποδειχθεί ότι οι διάφορες "τεχνικές" και το "κτίριο" στο σύνολό του είναι ενεργειακά αποδοτικό. Πολύ λιγότερο ενδιέφερε να δειχθεί η αρμονική συνύπαρξη του ενεργειακού με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, στοχεύοντας στη δημιουργία ενός λειτουργικά και μορφολογικά άρτιου κτιρίου.

Τα πράγματα στις μέρες μας έχουν διαφοροποιηθεί αρκετά, καθόσον πολλοί από τους παλιούς πολέμιους της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής έγιναν φανατικοί υπερασπιστές της, ενώ παράλληλα προστέθηκαν και νέοι επιστήμονες που υποστήριξαν με θέρμη τη νέα αυτή τάση. Επίσης οι συνεχείς προσπάθειες πολλών ερευνητών σε όλο τον κόσμο έλυσαν πολλά από τα προβλήματα, προχώρησαν τη γνώση και έδωσαν τα κατάλληλα υπολογιστικά εργαλεία στους μελετητές για να ελέγξουν και ποσοτικά τις αποφάσεις τους ήδη από το πρώιμο στάδιο του σχεδιασμού. Παράλληλα η τεχνολογία στον ενεργειακό τομέα προσέλευσε το

ενδιαφέρον μεγάλων βιομηχανιών, έτσι ώστε σήμερα να υπάρχουν όχι μόνο η τεχνολογική γνώση, αλλά και τα μέσα για το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων "χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας". Το μοναδικό ίσως πρόβλημα που συνεχίζει να υπάρχει είναι ότι δεν έχει γίνει συνείδηση σε ευρεία κλίμακα η νέα "ενεργειακή λογική" όχι τόσο στους μελετητές, όσο κυρίως στους χρήστες των κτιρίων, ώστε η εφαρμογή των ενεργειακών τεχνικών στον κτιριακό τομέα να αποτελεί τον κανόνα και όχι την εξαίρεση.

Τα ζητήματα γύρω από την "ενεργειακή λογική" θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι είναι απλά. Αρκεί να μην απορρίπτονται έτσι απλά οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, είτε από άγνοια, είτε από φόβο για κάτι νέο. Το όφελος είναι πράγματι μεγάλο, τόσο για το μέσο καταναλωτή, όσο και για την εθνική οικονομία και το περιβάλλον. Το κυριότερο βέβαια που θα πρέπει να τονιστεί είναι ότι το όφελος αυτό είναι συνεχές καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του κτιρίου και βέβαια σε χρηματοοικονομικό επίπεδο αυξάνει όσο θα αυξάνει το κόστος της ενέργειας, πρόβλημα που στις μέρες μας αναδείχθηκε ως το κυρίαρχο παγκόσμιο πρόβλημα που ζητά άμεση λύση, για να αποφευχθεί και να μην προστεθεί μια ακόμη ενεργειακή κρίση όπως αυτές του 1973, του 1979 και η πρόσφατη που ακόμα μαίνεται.

Και αν η εφαρμογή των ενεργειακών τεχνικών σε κτίρια του περιαστικού περιβάλλοντος δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα, σε κτίρια του αστικού περιβάλλοντος η αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος χρειάζεται περισσότερη σκέψη και ευρηματικότητα για να προκύψουν σωστά αποτελέσματα ως προς τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου χειμώνα καλοκαίρι. Οι δυσκολίες προέρχονται από τον ήδη διαμορφωμένο ιστό των πόλεων, όπου κατά την ανάπτυξή τους δεν πάρθηκε υπόψη η παράμετρος ενέργεια.

2. Βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων

Ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων ή αλλιώς ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, ή η ορθολογική χρήση της ενέργειας, έννοιες σχεδόν ταυτόσημες, έχουν ένα και μοναδικό στόχο. Να διασφαλίσουν αποδεκτές εσωκλιματικές συνθήκες με τη σωστή θερμική συμπεριφορά του κτιρίου - χειμώνα καλοκαίρι - και συνεπώς να περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας, με όλα τα οφέλη που αυτό συνεπάγεται, οικονομικά, περιβαλλοντικά με τη μείωση των εκπομπών CO₂, ποιότητα ζωής κ.λ.π. Ο παραπάνω στόχος στην περίπτωση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής επιτυγχάνεται με καθαρά

σχεδιαστικούς χειρισμούς, ή με διάφορες τεχνικές στην κατασκευή του κτιρίου, περιορίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο την εξάρτηση από το μηχανολογικό εξοπλισμό για τη θέρμανση ή ψύξη των κτιρίων.

3. Βιοκλιματικός σχεδιασμός ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας

Η επίλυση του ενεργειακού προβλήματος συνίσταται κυρίως στη μείωση των καταναλισκόμενων συμβατικών ενεργειακών πόρων και στην ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος που είναι αποτέλεσμα τόσο της χρήσης όσο και των μετατροπών της ενέργειας. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας διπλασιάζεται κάθε διετία, με αποτέλεσμα να μειώνονται θεαματικά τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, άνθρακας, κλπ.). Η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι αποτέλεσμα της έκλυσης κυρίως διοξειδίου του άνθρακα καθώς και άλλων ρυπογόνων αερίων. Τα αέρια αυτά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τους βασικούς επιβαρυντές ρύπανσης, όπως την όξινη βροχή, την τρύπα του όζοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Από μετρήσεις του ΥΠΕΧΩΔΕ, για την κάλυψη σε ενέργεια των κτιριακών αναγκών στην Ελλάδα απαιτείται το 30% της συνολικής ενέργειας, το οποίο με τη σειρά του συμβάλλει στο 40% της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα. Από αυτή τη σκοπιά, η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις πλέον ενεργοβόρες και σπάταλες χώρες του αναπτυσσόμενου κόσμου. Είναι συνεπώς εύλογο να γίνεται, με διάφορους τρόπους, προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης των συμβατικών πόρων και πηγών ενέργειας, με τη βελτίωση της λειτουργίας και απόδοσης των ενεργειακών συσκευών και εγκαταστάσεων και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο συχνά χρησιμοποιείται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στην κατασκευή των κατοικιών και στη διάταξη των οικιστικών συγκροτημάτων, με στόχο τη μείωση της καταναλισκόμενης συμβατικής ενέργειας και της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Η ενεργειακή κάλυψη των βιοκλιματικών κτιρίων και διατάξεων βασίζεται κυρίως στη χρήση παθητικών συστημάτων, τη χρησιμοποίηση κατά κύριο λόγο του ήλιου και σε μικρότερο βαθμό άλλων φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας (αιολική, γεωθερμία κλπ.).

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός περιλαμβάνει τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό κτιρίων, εάν πρόκειται για μία μεμονωμένη κατοικία ή τον πολεοδομικό σχεδιασμό, εάν πρόκειται για οικιστικά συγκροτήματα. Με το βιοκλιματικό σχεδιασμό επιδιώκεται η προσαρμογή του κτιρίου ή του οικισμού στο τοπικό κλίμα και το

φυσικό περιβάλλον, με στόχο την άνετη διαβίωση, ή αλλιώς την άνεση, και την ελαχιστοποίηση, σε ετήσια βάση, της χρήσης συμβατικών πόρων ενέργειας. Άνεση είναι η αίσθηση της απόλυτης πνευματικής και σωματικής ευημερίας των ατόμων που διαβιούν σε ένα χώρο και είναι συνάρτηση κυρίως της θερμοκρασίας αλλά και του αερισμού και της σχετικής υγρασίας του χώρου. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει στο να ρυθμίσει τις παραμέτρους αυτές, κυρίως της θερμοκρασίας, ώστε να δημιουργηθούν οι απαραίτητες συνθήκες άνεσης. Κατά τους θερινούς μήνες επιδιώκεται ο δροσισμός του κτιρίου με μείωση της θερμοκρασίας και αύξηση του αερισμού, κατά δε τους χειμερινούς μήνες ακριβώς το αντίθετο (θέρμανση).

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού ήταν ήδη γνωστές στον άνθρωπο από την αρχαιότητα. Υπάρχουν αναφορές όπου ο Σωκράτης παρότρυνε τους Αθηναίους να χτίζουν τα σπίτια τους με μεγάλα παράθυρα στο νότο και με την ελάχιστη δυνατή επιφάνεια προς το βορρά, δηλαδή να έχουν το σχήμα κελύφους ή σπηλιάς με μεσημβρινό προσανατολισμό. Στη σύγχρονη εποχή, αρχίζοντας από τις δεκαετίες του '60 στην Αμερική και του '70 στην Ευρώπη, άρχισε να εξετάζεται ένας άλλος τρόπος σχεδιασμού των κτιρίων, παράλληλα με τα μοντερνιστικά κινήματα (γυμνό σκυρόδεμα και γυαλί), άρχισαν σιγά-σιγά να εμφανίζονται κατασκευές που χρησιμοποιούσαν μεν σύγχρονα υλικά, αλλά με διαφοροποιημένη διάταξη των μορφολογικών στοιχείων.

Σε επίπεδο οικισμού, οι ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης και δροσισμού αντιμετωπίζονται συνολικά με τη χρήση κοινόχρηστων εγκαταστάσεων θέρμανσης ή δροσισμού, ειδικά συστήματα αποχέτευσης με ανακύκλωση νερού και βιολογικό καθαρισμό αποβλήτων, συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ηλιακές κυψέλες, δεξαμενές νερού βροχής, κλπ. Τα παραπάνω έχουν κατασκευασθεί, μέχρι σήμερα, κυρίως πειραματικά τόσο σε απομακρυσμένες περιοχές όσο και σε συνοικίες μικρών ή μεγάλων πόλεων.

Στα μέσα που χρησιμοποιούνται για το δροσισμό μιας κατοικίας περιλαμβάνονται και τα εξής: κινητή σκίαση, βλάστηση και δενδροφύτευση, αεριζόμενο δώμα διπλής οροφής, καθώς και υπεδάφιο σύστημα αγωγών για την απαγωγή θερμού αέρα. Συμπερασματικά, χρησιμοποιώντας σωστό βιοκλιματικό σχεδιασμό, τόσο σε μεμονωμένες κατοικίες όσο και οικιστικά συγκροτήματα, θα οδηγηθούμε σε πιο υγιεινή (οικολογική) διαβίωση με ταυτόχρονη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

4. Το κτιριακό περιβάλλον

Ο τομέας των κτιρίων αποτελεί ίσως τον σημαντικότερο οικονομικό χώρο της Ευρώπης, παρουσιάζοντας ετήσιο κύκλο εργασιών που ξεπερνά τα 400 δις Ευρώ. Ταυτόχρονα, σε ημερήσια βάση, η παγκόσμια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση που σχετίζεται με τα κτίρια ξεπερνάει τα 17 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου, ποσότητα περίπου ίση με την συνολική παραγωγή των χωρών του ΟΠΕΚ.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο τομέας των κτιρίων απορροφά, κατά μέση τιμή, το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η ανά χώρα διακύμανση ποικίλει από 20% για την Πορτογαλία, έως και 45% για την Ιρλανδία, ενώ στην Ελλάδα κυμαίνεται περίπου στο 30%.

Δεδομένου ότι ο κάτοικος των αστικών κυρίως κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι προφανής η επίδραση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος τόσο στην υγεία και την άνεση όσο και την παραγωγικότητά του. Η κατά τα τελευταία χρόνια δραματική υποβάθμιση του ατμοσφαιρικού προβλήματος καθώς και η χρήση υλικών και συσκευών μη φιλικών προς το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών, ποιοτικά και ποσοτικά, περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων στα κτίρια.

Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει συντελέσει στην δραματική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η απαιτούμενη ενέργεια για τον δροσισμό ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη στην περιφέρεια της πόλης.

Παράλληλα η αύξηση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οι υψηλές εκπομπές μέρους των σύγχρονων δομικών υλικών συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντών στο εσωτερικό των κτιρίων, με ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες τόσο στην υγεία όσο και την παραγωγικότητα των ενοίκων. Μετρήσεις σε κτίρια γραφείων και νοσοκομεία στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών έδειξαν ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων καθώς και αυξημένα ποσοστά παθολογίας των ενοίκων.

Τα παραπάνω καθορίζουν το πλαίσιο εξέτασης και ανάλυσης του όλου ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος των κτιρίων. Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων δεν θα πρέπει να αποσυνδέεται από τα προβλήματα

περιβάλλοντος και θα πρέπει να μελετάται σαν μια ενότητα μαζί με το συγκεκριμένο εξωτερικό μικροκλίμα στον χώρο του κτιρίου, καθώς και το διαμορφούμενο εσωτερικό περιβάλλον.

5. Συμπεράσματα

Τα κτίρια αποτελούν τον μεγαλύτερο καταναλωτή ενέργειας στην Ευρώπη, καλύπτοντας το 40% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου της. Παράλληλα, ο κτιριακός χώρος, σαν πλήρες στοιχείο του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος επηρεάζεται από τα σύγχρονα προβλήματά του και συντελεί στην διαμόρφωσή τους. Η ένταση των προβλημάτων του εξωτερικού περιβάλλοντος έχει διαμορφώσει ένα πλαίσιο προβλημάτων για το κτίριο όπου τα προβλήματα ποιότητας του εσωτερικού κλίματος και περιβάλλοντος καθώς και τα ποσοτικά προβλήματα κατανάλωσης και εξοικονόμησης ενέργειας, συμπλέουν και απαιτούν κοινή αντιμετώπιση και προοδευτική αντίληψη αντιμετώπισης.

Η σημαντική έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί κατά τα τελευταία χρόνια έχει επιτρέψει την ανάπτυξη επιστημονικών μεθόδων, τεχνικών και τεχνολογιών που αφενός εξασφαλίζουν βέλτιστο εσωτερικό περιβάλλον καθώς και την μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας. Οι τεχνικές αυτές που κατά βάση κάνουν χρήση ηλιακής ενέργειας καθώς και των άλλων πηγών του περιβάλλοντος έχουν ήδη αποδείξει σε πρακτικό επίπεδο ότι είναι ιδιαίτερα αποδοτικές τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Η ευρύτερη εφαρμογή τους αποτελεί αίτημα για ένα καλύτερο κτιριακό περιβάλλον, εντός του οποίου βέβαια διαβιώνουμε το 80% περίπου της όλης μας ζωής.

Κεφάλαιο

2

Δροσισμός χαμηλής κατανάλωσης

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

1. Ενεργειακή κατανάλωση.....	10
2. Φαινόμενα αστικής νησίδας και άρρωστου κτιρίου.....	11
3. Εξοικονόμηση και Υποκατάσταση Ενέργειας στα κτίρια	14
<i>A. Σημασία της θερμομόνωσης και της θερμοχωρητικότητας των υλικών.....</i>	<i>14</i>
4. Παθητικός, υβριδικός και χαμηλής κατανάλωσης δροσισμός.....	16
<i>A. Τεχνολογίες: τρόπος λειτουργίας.....</i>	<i>17</i>
5. Δροσισμός μέσω του εδάφους.....	21
<i>A. Πώς χρησιμοποιείται η ενέργεια του εδάφους.....</i>	<i>21</i>
<i>B. Πλεονεκτήματα.....</i>	<i>22</i>
<i>C. Προβλήματα με την ενέργεια από το έδαφος.....</i>	<i>23</i>
6. Οροφές δροσισμού	24
<i>A. Συμβατικά συστήματα κλιματισμού.....</i>	<i>25</i>
<i>B. Μια νέα ιδέα κλιματισμού του αέρα (air – conditioning)</i>	<i>25</i>
<i>C. Πώς λειτουργούν οι οροφές δροσισμού.....</i>	<i>26</i>
<i>D. Αντίκτυπος οροφών δροσισμού</i>	<i>27</i>
<i>E. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....</i>	<i>34</i>

1. Ενεργειακή κατανάλωση

Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών.

Η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξης των 350 Μtoe ανά έτος, χωρίς να υπολογίζεται η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο με 116 Μtoe, το πετρέλαιο με 99 Μtoe, τον ηλεκτρισμό με 91 Μtoe, και τα στερεά καύσιμα με 11 Μtoe.

Οι πραγματικές ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων στην Ευρώπη καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό και από την έμμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και των άλλων ατμοσφαιρικών πηγών. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων υπολογίζεται σε 740 Μtoe πρωτογενούς ενέργειας. Η κατανομή των διαφόρων πλεόν καυσίμων είναι 43% διάφορα καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 20% από άμεση χρήση πετρελαίου, 18% από άμεση χρήση φυσικού αερίου, 6% από άλλα στερεά καύσιμα και κατά 15% από ηλιακή ενέργεια.

Πίνακας 1. Μέση ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης
Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο.

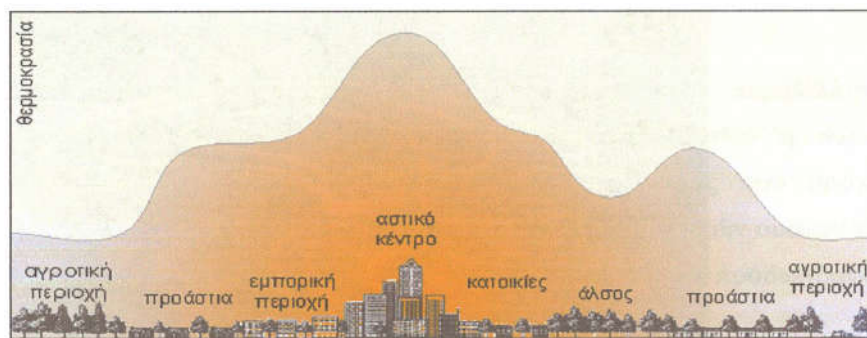
Τύπος κτιρίου	Δροσισμός	Θέρμανση	Φωτισμός	Συσκευές	Σύνολο
Γραφεία	24	95	20	48	187
Εμπορικά	18	74	19	41	152
Σχολεία	2	66	16	8	92
Νοσοκομεία	3	299	52	53	407
Ξενοδοχεία	11	198	24	40	273

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι αντιστοιχεί περίπου ένας τόνος ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος και ανά κάτοικο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων στην Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή κατά τα τελευταία χρόνια είναι ελαφρά αυξητική και η ετήσια αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης στα κτίρια είναι ίση με 0.7%.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4.6 Mtoe, και αντιστοιχούν 0.55 Ktoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος, δηλαδή περίπου το μισό της αντίστοιχης κατανάλωσης στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 1,8 %.

2. Φαινόμενα αστικής νησίδας και άρρωστου κτιρίου

Είναι αρκετές χιλιάδες τα θύματα του φαινομένου της αστικής νησίδας σε όλο τον κόσμο. Η ενεργειακή κατανάλωση είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους του φαινομένου. Πέρα από οτιδήποτε άλλο, αρκεί κανείς να φανταστεί το συνολικό θερμικό φορτίο που αποβάλλει μια ολόκληρη πόλη από τις κλιματιστικές συσκευές τις ώρες του καλοκαιρινού καύσωνα για να συλλάβει το φαύλο κύκλο που βρίσκονται τα αστικά κέντρα. Η εγκατάσταση ψύξης σε ένα κοινό και σχετικά στενό δρόμο, βελτιώνει τις συνθήκες ενός διαμερίσματος αλλά επιβαρύνει όχι μόνο το αστικό περιβάλλον αλλά υπερθερμαίνει άμεσα τα απέναντι διαμερίσματα που προσπαθούν να δροσιστούν με φυσικό αερισμό έχοντας ανοιχτά παράθυρα. Έτσι τους οδηγεί αναγκαστικά στην απόκτηση δικού τους κλιματιστικού, το οποίο στη συνέχεια θα επιδεινώσει περαιτέρω την κατάσταση.



Σχήμα 1. Φαινόμενο αστικής νησίδας: Τυπικό θερμοκρασιακό προφίλ μιας αστικής περιοχής

Θα ήταν ουτοπικό να διατυπώσει κανείς την άποψη ότι οποιαδήποτε τεχνική εξοικονόμησης ενέργειας μπορεί να αναιρέσει άμεσα όλα όσα καταλογίζονται στον υφιστάμενο τρόπο που οικοδομούνται και λειτουργούν τα κτίρια. Ωστόσο, παγκοσμίως τα κράτη θέτουν νομικούς περιορισμούς στην κατανάλωση που επιτρέπεται να έχουν τα νέα κτίρια, κίνητρα για την ενεργειακή αναβάθμιση των υφιστάμενων και «πρόστιμα» για όσα κτίρια επιμένουν να σπαταλούν ενέργεια.

Σε όλους τους τύπους κτιρίων παρατηρείται διαρκής αύξηση εγκατάστασης συσκευών θέρμανσης ή ψύξης που καταναλώνουν ενέργεια. Η κλιματιστική συσκευή που ήταν είδος πολυτελείας πριν από 15-20 χρόνια, θεωρείται πλέον αναγκαιότητα. Μόνο τα τελευταία 20 χρόνια υπολογίζεται ότι έχουν εγκατασταθεί περισσότερες από 1.000.000 κλιματιστικές μονάδες, οι οποίες πρακτικά μεταφράζονται σε εγκατεστημένη ισχύ 1.000MW ή αλλιώς περίπου τρεις τυπικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί. Αυτό χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κόστος αγοράς τους και η επίδραση της στην εξαγωγή κεφαλαίου.

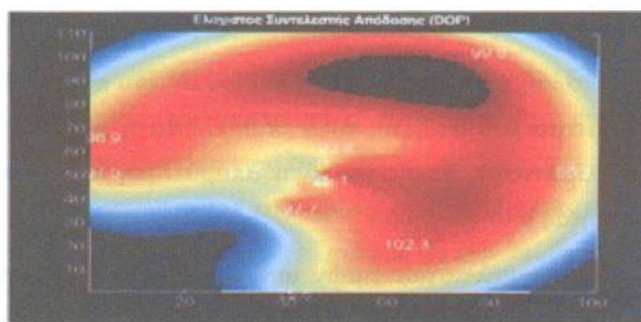
Λογική είναι λοιπόν η ανάγκη για μια οικονομικότερη, πιο περιβαλλοντικά και κοινωνικά αποδεκτή λύση. Ο φυσικός δροσισμός ενός κτιρίου, που μπορεί να είναι παθητικός ή υβριδικός, προσφέρει τέτοια πλεονεκτήματα έναντι του συμβατικού κλιματισμού αφού αναιρεί το πρόβλημα της υπερθέρμανσης του τοπικού μικροκλίματος της περιοχής, καθώς και χρησιμοποιεί λιγότερη (αν όχι καθόλου) ενέργεια.

Μετρήσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, έδειξαν ότι η κεντρική περιοχή των Αθηνών είναι κατά πολύ θερμότερη των πέριξ της Αθήνας ημιαστικών περιοχών.



Σχήμα 2. Άποψη της Αθήνας που δείχνει την ισοθερμοκρασιακή πύκνωση στο κέντρο της πόλεως

Οι καταγραφείσες θερμοκρασιακές διαφορές κυμαίνονται κατά την διάρκεια της ημέρας περί τους 5 - 12 °C και 2 - 5 °C κατά τη διάρκεια της νύκτας. Χρησιμοποιώντας τις θερμοκρασιακές καταγραφές υπολογίσθηκε το φορτίο δροσισμού για ένα τυπικό κτίριο γραφείου σε όλη την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Η κατανομή του φορτίου κλιματισμού εκφρασμένο σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο για όλο τον Αύγουστο του 1997, δίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3. Θερμοκρασιακή διακύμανση στην πόλη της Αθήνας

Όπως διαπιστώνεται, το φορτίο κλιματισμού στις κεντρικές περιοχές της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσιο από ότι στις αντίστοιχες περιφερειακές περιοχές. Ο διπλασιασμός του ενδεικτικού αυτού φορτίου οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας στις κεντρικές αστικές περιοχές.

Η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συνδυασμό με την χρήση δομικών υλικών και προϊόντων καθημερινής χρήσης που επιβαρύνουν το περιβάλλον έχουν συντελέσει στην αύξηση της συγκέντρωσης ειδικών χημικών ρυπαντών και βιολογικών παραμέτρων στο εσωτερικό του κτιρίου. Το φαινόμενο αυτό γνωστό σαν φαινόμενο του άρρωστου κτιρίου, είναι υπεύθυνο για μια σειρά από προβλήματα υγείας και αδιαθεσίας των ενοίκων.

Ικανοποιητική ποιότητα αέρα και υγιεινό εσωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό των κτιρίων μπορεί να επιτευχθεί εάν εξασφαλισθεί η παρακάτω προϋπόθεση: Να μην υπάρχουν ή να απομακρυνθούν πηγές που προκαλούν εσωτερική ρύπανση, όπως πηγές φορμαλδεΐδης, πτητικών οργανικών ουσιών κλπ. Οι πηγές αυτές είναι γνωστές και περιγράφονται στις αντίστοιχες προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας.

3. Εξοικονόμηση και Υποκατάσταση Ενέργειας στα κτίρια

Η επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων είναι ο πρωταρχικός στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού. Η έννοια της θερμικής άνεσης σ' ένα χώρο σχετίζεται με το ενεργειακό ισοζύγιο των ενοίκων. Κάθε οργανισμός παράγει, δέχεται και αποβάλλει θερμότητα κύρια με διαδικασίες μεταφοράς, εκπομπής και εξάτμισης. Θετικό θερμικό ισοζύγιο αντιστοιχεί σε αίσθημα θερμικής δυσφορίας, ενώ αρνητικό ισοζύγιο προκαλεί το αίσθημα κρύου.

Στην περίπτωση όπου το φυσικό περιβάλλον του κτιρίου δεν εξασφαλίζει την θερμική ουδετερότητα του ατόμου, τότε επιβάλλεται η μεταβολή των παραμέτρων, προσωπικών ή κλιματικών, χωρίς να είναι απαραίτητη κατ' ανάγκη η προσθήκη η αφαίρεση θερμότητας από τον χώρο.

Η επίτευξη των βέλτιστων τιμών των κλιματικών παραμέτρων στο κτίριο και κύρια της εσωτερικής θερμοκρασίας σχετίζεται πλέον με το ενεργειακό ισοζύγιο του ίδιου του κτιρίου.

Μείωση των θερμικών απωλειών του κτιρίου επιτυγχάνεται κύρια με την μείωση της μεταφερομένης θερμότητας δια μέσω του κελύφους και την ανάκτηση θερμότητας κατά τον αερισμό. Η θερμική προστασία του κελύφους με χρήση θερμομόνωσης εξασφαλίζει την μείωση των απωλειών μέσω του κελύφους, ενώ η χρήση ειδικών εναλλακτών θερμότητας μειώνει δραματικά τις απώλειες μέσω αερισμού.

Η αύξηση της εισερχόμενης στο κτίριο ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου συντελεί στην βελτίωση του θερμικού ισοζυγίου του και την μείωση των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στο κτίριο μέσω των διάφανων ανοιγμάτων και αποθηκεύεται στην μάζα του κτιρίου η οποία την επανεκπέμπει με την μορφή θερμικής ακτινοβολίας που πλέον δεν μπορεί να διαφύγει από το κτίριο (φαινόμενο θερμοκηπίου). Το φυσικό αυτό φαινόμενο αποτελεί την σχεδιαστική αρχή των λεγόμενων παθητικών ηλιακών κτιρίων.

Α. Σημασία της θερμομόνωσης και της θερμοχωρητικότητας των υλικών

Στα κτίρια με μικρή συνολική θερμοχωρητικότητα (ελαφριές κατασκευές) η απουσία θερμομόνωσης του κελύφους προκαλεί πολύ μικρή μετατόπιση των φάσεων,

συχνά μικρότερη από δυο ώρες. Αυτό σημαίνει ότι γίνονται σχεδόν άμεσα αισθητές στον εσωτερικό χώρο οι υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα τη δημιουργία «συνθηκών παράγκας», φαινόμενο εντελώς αντίθετο με τις απαιτήσεις της άνεσης. Τα θερμομονωτικά υλικά επιβραδύνουν και μειώνουν την είσοδο της θερμότητας στο κτίριο, αλλά δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τη σημασία της θερμικής μάζας.

Η βαρύτητα της θερμοχωρητικότητας στη διαμόρφωση του εσωκλίματος εξαρτάται κυρίως από τις εξωκλιματικές παραμέτρους και είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας στο διάστημα του εικοσιτετραώρου. Είναι τόσο περισσότερο απαραίτητη όσο η εξωτερική θερμοκρασία στο διάστημα της νύχτας υπολείπεται της εξωτερικής θερμοκρασίας στο διάστημα της ημέρας. Αυτό συμβαίνει γιατί την ημέρα, γενικά σε ένα κτίριο εισέρχεται ηλιακή ακτινοβολία, υπάρχει μεγάλη παραγωγή θερμότητας στους χώρους του κτιρίου, από την παρουσία ανθρώπων και τη λειτουργία συσκευών. Αυτή η θερμότητα, εάν υπάρχει επαρκής θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου, μαζί με ένα μέρος από τη θερμότητα του συστήματος θέρμανσης αποθηκεύεται στη θερμική μάζα, όσο διάστημα η θερμοκρασία του χώρου είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία των δομικών στοιχείων. Αυτή η ροή θερμότητας αποκτά αντίστροφη φορά από το απόγευμα και μετά όταν η θερμοκρασία των δομικών στοιχείων παραμένει περίπου σταθερή, αλλά μειώνεται η θερμοκρασία του χώρου. Τότε, η θερμότητα που επαναποδίδεται στο χώρο αντιστέκεται στην απότομη θερμοκρασιακή αλλαγή μειώνει το ρυθμό με της.

Όταν υπάρχει θερμική μάζα στο κέλυφος του κτιρίου, τότε το ίδιο φαινόμενο εξακολουθεί να συμβαίνει, μόνο που παράλληλα, υπάρχει και το φαινόμενο της χρονικής υστέρησης στη μετάδοση της θερμότητας. Έτσι σε μια ηλιόλουστη ημέρα, οι νότιοι και οι δυτικοί τοίχοι θερμαίνονται από την ηλιακή ακτινοβολία και αυτή η θερμότητα αρχίζει να διαπερνά τα στοιχεία εισερχόμενη στο κτίριο. Λόγω της θερμοχωρητικότητάς τους, τα υλικά θα παρουσιάζουν μια θερμική αδράνεια, η οποία θα έχει ως συνέπεια η θερμότητα τελικά να φτάνει στην εσωτερική πλευρά του στοιχείου το απόγευμα, ή αργότερα, συμβάλλοντας έτσι στην αργή και όχι απότομη μείωση θερμοκρασίας των στοιχείων και του χώρου. Το ίδιο βέβαια συμβαίνει και το ξημέρωμα, μόνο που τότε, με την έναρξη της θέρμανσης του χώρου, οι σχετικά

ψυχρές εσωτερικές επιφάνειες δεσμεύουν φορτίο από το σύστημα θέρμανσης, τα εσωτερικά κέρδη και τις ανακλάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η θερμοχωρητικότητα δεν είναι πάντα επιθυμητή σε κτίρια με αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες θερμικής άνεσης, όπως πολλά σύγχρονα κτίρια γραφείων. Μια που τα κτίρια αυτά δεν λειτουργούν τη νύχτα, θα ήταν σπάταλο να αποθηκεύεται θερμότητα στα δομικά τους στοιχεία, την οποία θα παρείχε το σύστημα θέρμανσης. Είναι προτιμότερο να αξιοποιείται η παρεχόμενη θερμότητα άμεσα για τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα και όχι της μάζας των στοιχείων.

Συνεπώς, ο ρόλος της θερμοχωρητικότητας είναι διπλός:

1. Να αποσβέσει τις διακυμάνσεις του θερμικού φορτίου που εισέρχεται άμεσα στο κτίριο με τη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας. *(Η ακτινοβολία δεν συμμετέχει μόνο άμεσα στη διαμόρφωση της εσωτερικής θερμοκρασίας, αλλά έμμεσα, αφού θερμάνει τα υλικά του χώρου)*
2. Να παρατείνει το χρονικό διάστημα στο οποίο η θερμότητα που προέρχεται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να αποδοθεί στον εσωτερικό χώρο.

4. Παθητικός, υβριδικός και χαμηλής κατανάλωσης δροσισμός

Μέσω των αιώνων ο άνθρωπος έχει εφεύρει πολλούς τρόπους για να επιτυγχάνει δροσισμό σε ζεστά μέρη και εποχές. Έχει αναπτύξει μια ευρεία γκάμα παθητικών τεχνικών δροσισμού σε διάφορα μέρη του κόσμου σε εντυπωσιακό βαθμό: σπηλιές (δροσισμός μέσω του εδάφους) ανεμόπυργοι στο Ιράν (δροσισμός με συναγωγή), καταιονισμός νερού με σιντριβάνια (δροσισμός μέσω εξάτμισης), και με το ασβέστωμα (προστασία από τον ήλιο) στη Νότια Ευρώπη και την Αφρική.

Όλες αυτές οι τεχνικές βασιζότανε στον προσεχτικό σχεδιασμό όπου οι αρχές της μετάδοσης μάζας και θερμότητας δεν είχαν να κάνουν με τη χρησιμοποίηση κάποιας μηχανικής υποστήριξης: ήταν εντελώς παθητικές. Μια μεγάλη αλλαγή έγινε στο τέλος του αιώνα, όταν ο M. Carrier εφηύρε το δροσισμό με ψυκτικά υγρά. Αυτά τα συστήματα αναπτύχθηκαν σε μεγάλη κλίμακα μόνο μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο ξεκινώντας από τις Η.Π.Α. όπου η μαζική παραγωγή ελάττωσε το κόστος και όταν τα εύκαιρα CFCs αντικατέστησαν την επικίνδυνη αμμωνία και τους ψυκτικούς υδρογονάνθρακες.

Αυτός ο κλιματισμός με ψυκτικά υγρά και η διαθεσιμότητα φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας επέτρεψαν στους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές να μπορούν να διατηρούν τα κτίρια δροσερά, άσχετα από τον προσανατολισμό τους, τη μόνωσή τους, το σκιασμό και τη θερμική μάζα τους. Έτσι, σε πολλά μέρη του κόσμου οι παθητικές τεχνικές δροσισμού εγκαταλείφθηκαν μέχρι που ξανακέρδισαν το ενδιαφέρον του κόσμου στις τελευταίες δύο δεκαετίες με την ανάπτυξη των προβλημάτων της ενέργειας και του περιβάλλοντος.

Παρόλα αυτά, και άσχετα με τη δυναμική τους, η ανάπτυξη των περισσότερων παθητικών, υβριδικών και χαμηλής ενέργειας τεχνολογιών είναι απαγορευτική σε αρκετά μέρη του κόσμου, ενώ άλλες είναι αρκετά περιθωριοποιημένες.

Οι τεχνολογίες δροσισμού που θα αναφερθούν παρακάτω είναι είτε παθητικές, είτε υβριδικές, ανάλογα με το αν δε χρησιμοποιούν καθόλου ή χρησιμοποιούν λίγη ενέργεια για να διακινήσουν το ψυχρό αέρα ή το νερό και με αυτό τον τρόπο να εκπέμψουν «δροσισμό». Κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες περιλαμβάνουν την πηγή του δροσισμού, ενώ άλλες έχουν να κάνουν μόνο με τη διανομή και την εκπομπή αυτής της ενέργειας δροσισμού. Καμία από τις τεχνολογίες που αναφέρονται δε χρησιμοποιεί ψυκτικό υγρό, και όλες οι τεχνολογίες, ανεξάρτητα με το αν κάποια χρησιμοποιείται αποκλειστικά μόνη της, ή χρησιμοποιείται σε σύζευξη με κάποιο άλλο συμβατικό σύστημα ψύξης, οδηγούν σε σημαντική εξοικονόμηση στην κατανάλωση ψυκτικών φορτίων και στο μέγιστο ή το συνολικό φορτίο: είναι τεχνολογίες χαμηλής κατανάλωσης.

Αυτές οι τεχνολογίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορες χώρες και κλίματα: κατοικίες, εμπορικά κτίρια, καινούρια και ανακατασκευασμένα κτίρια.

Α. Τεχνολογίες: τρόπος λειτουργίας

Νυχτερινός αερισμός:

Χρησιμοποιεί φυσικά μέσα, ή μηχανικά, για να διώξει έξω από το κτίριο τον εσωτερικό αέρα τη νύχτα και να κρυσώσει τη θερμική του μάζα επιτρέποντάς της να ξανααποθηκεύσει θερμικά κέρδη την επόμενη ημέρα.

Δροσισμός με εξάτμιση:

Χρησιμοποιεί σπρέι νερού μέσα από το οποίο περνάει ο αέρας για να μειωθεί η θερμοκρασία υγρού βολβού του. Ο δροσισμός με εξάτμιση μπορεί να είναι άμεσος, αν ο αέρας διοχετεύεται απευθείας μέσω του υγρού μέσου. Σε αυτήν την περίπτωση ο δροσισμός με εξάτμιση προσφέρει αισθητό δροσισμό, ενώ αυξάνει το λανθάνον θερμικό περιεχόμενο του αέρα. Μπορεί επίσης να είναι έμμεσος, όταν ο εξωτερικός αέρας, αφού διέλθει μέσα από το υγρό μέσο, στη συνέχεια διοχετευτεί εντός ενός εναλλάκτη αέρος – αέρος. Σε αυτήν την περίπτωση, ο δροσισμός μέσω εξάτμισης παρέχει αισθητό δροσισμό, διατηρώντας σταθερό το λανθάνον θερμικό φορτίο του εσωτερικού αέρα.

Νυχτερινός δροσισμός με ακτινοβολία προς τον ουρανό:

Χρησιμοποιεί τη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία προς τον νυχτερινό ουρανό για την ψύξη μιας θερμότερης μάζας (συνήθως του νερού), μέρους του κτιρίου (συνήθως τοποθετημένο στην οροφή). Η θερμοκρασία του νυχτερινού αέρα μπορεί να είναι περίπου 15°C ψυχρότερη από τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του περιβάλλοντος. Η μάζα που έχει ψυχθεί θα χρησιμοποιηθεί ως καταβόθρα θερμότητας για τα εσωτερικά και τα εξωτερικά κέρδη του κτιρίου την επόμενη ημέρα. Τέτοια συστήματα μπορεί να είναι παθητικά (χρησιμοποίηση κλειστών αποθηκών νερού που λέγονται λίμνες οροφής) ή να απαιτούν κάποια μηχανική ισχύ για την άντληση νερού και έναν εναλλάκτη νερού – αέρα για τη διανομή του ψυχρού αέρα εντός του κτιρίου.

Δροσισμός μέσω του εδάφους με αέρα:

Χρησιμοποιεί τη μακροχρόνια θερμική αδράνεια του εδάφους (μερικά μέτρα κάτω από το έδαφος η θερμοκρασία παίρνει τιμές που είναι μόνο λίγους βαθμούς γύρω από τη μέση ετήσια θερμοκρασία της ατμόσφαιρας) για την απαγωγή ψυκτικού φορτίου το καλοκαίρι (και θερμικού φορτίου το χειμώνα) μέσω ενός εναλλάκτη εδάφους αέρα. Αυτοί οι εναλλάκτες είναι συνήθως κατασκευασμένοι από σωληνώσεις θαμμένες μέσα στις οποίες κυκλοφορεί αέρας μέσα από το κτίριο ή εξωτερικός.

Δροσισμός πλάκας με νερό:

Χρησιμοποιεί τις δομικές πλάκες του κτιρίου (συνήθως το σκυρόδεμα) ως το ψυκτικό διανομέα και εκπομπό. Το νερό αντλείται μέσω κλειστού δικτύου σωληνώσεων στις πλάκες σε θερμοκρασίες 15 – 18 °C. Αυτές οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες επιτρέπονται λόγω της μεγάλης επιφάνειας δροσισμού. Αυξάνουν την αποδοτικότητα της συνολικής ψυκτικής διαδικασίας, άσχετα αν πρόκειται για συμβατικό ή υβριδικό σύστημα.

Οροφές δροσισμού και εξαναγκασμένος εξαερισμός:

Χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός ακτινοβολίας και συναγωγής για την διανομή και εκπομπή του δροσισμού έτσι ώστε να διατηρηθούν τα κτίρια δροσερά με σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα συναγωγής. Οι κύριες ανάγκες δροσισμού ικανοποιούνται μέσω μιας οροφής δροσισμού με ακτινοβολία η οποία λειτουργεί με τις ίδιες αρχές όπως και οι δομικές πλάκες αλλά με αυξημένη αποδοτικότητα λόγω του ότι ο ψυχρός αέρας κατέρχεται από την οροφή. Τα επιπλέον λανθάνοντα ψυκτικά φορτία ικανοποιούνται μέσω του φρέσκου αέρα από τον εξαερισμό, ο οποίος μπορεί να διατηρηθεί σε χαμηλές τιμές ροής για λόγους ποιότητας αέρα. Σε τέτοια συστήματα εξαναγκασμένου εξαερισμού ο αέρας παρέχεται μέσω κάποιων οπών κοντά στο πάτωμα στους 18°C με πολύ χαμηλή ταχύτητα (τυπικές τιμές 0,2 m/s). Έπειτα μπορεί να διανεμηθεί ομοιόμορφα στην επιφάνεια του δαπέδου και να προσεγγίσει έτσι τις πηγές θερμότητας.

Δροσισμός πλάκας με αέρα:

Χρησιμοποιεί τη θερμική αδράνεια της μάζας του κτιρίου για την αποθήκευση ψυκτικού φορτίου κυκλοφορώντας ψυχρό αέρα μέσω καναλιών στις οριζόντιες επιφάνειες του κτιρίου και ίσως και στους κάθετους τοίχους (εσωτερικούς και εξωτερικούς). Η δομή του κτιρίου θα είναι τότε μια θερμική καταβόθρα για εσωτερικά ή εξωτερικά λανθάνοντα κέρδη. Η ψυκτική πηγή είναι συνήθως ο νυχτερινός αέρας, αλλά μπορούν εξίσου να χρησιμοποιηθούν και άλλα υβριδικά ή χαμηλής κατανάλωσης συστήματα.

Δροσισμός μέσω του εδάφους με νερό:

Χρησιμοποιεί υπόγεια ύδατα χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (τυπικά 10°C), όπου είναι δυνατόν, ως ψυκτική πηγή. Τέτοια συστήματα απαιτούν δύο (ή

περισσότερα) πηγάδια για την άντληση του νερού και την επανατροφοδότησή του στον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτός ο πρωτεύων βρόχος τροφοδοτεί με ψυκτική ενέργεια το δευτερεύοντα βρόχο μέσω ενός εναλλάκτη νερού – νερού. Αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αν χρειαστεί, και από άλλα βοηθητικά συστήματα δροσισμού.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια ενδεικτικά στοιχεία (τεχνικές πληροφορίες) της μεθόδου δροσισμού μέσω του εδάφους με χρήση υπογείων υδάτων που προέρχονται από ξένες αναφορές.

		1995	2010
Οικονομικός ορίζοντας	Χρόνια	50 + (b)	
Κόστος κεφαλαίου	ECU/m ²	203 (a)	120
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	ECU/m ²	4 (a)	
Τυπικά κέρδη ενέργειας εν συγκρίσει με ένα συμβατικό κλιματιστικό (COP=2)		80 (a)	
Τυπικό COP		10 (a)	
Τυπικό όριο ψυκτικού φορτίου	ECU/m ² κτιρίου	Κανένα (όσον αφορά αισθητά φορτία)	
Ειδικοί περιορισμοί		Θερμοκρασία υπογείων υδάτων	

Όπου

a: Μεγάλες εφαρμογές γραφείων (6000 m²) στην Ολλανδία

b: Για τα πηγάδια και τις σωληνώσεις: όσο και η διάρκεια του κτιρίου εκτός από τις αντλίες (20 χρόνια)

Δροσισμός μέσω αφύγρανσης:

Χρησιμοποιεί αφυγραντικό υλικό για την απορρόφηση υγρασίας (ψυκτικό φορτίο) από τον αέρα σε ένα αφυγραντή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αφυγραντικά υλικά στερεάς ή υγρής φύσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της αφύγρανσης, θερμότητα απελευθερώνεται και η θερμοκρασία αυξάνει. Αυτή η θερμοκρασία στη συνέχεια μειώνεται (αισθητό φορτίο) από ένα βοηθητικό σύστημα δροσισμού (συμβατικό ή χαμηλής ενέργειας). Σε τέτοια συστήματα τα λανθάνοντα και τα αισθητά φορτία διαχειρίζονται ξεχωριστά για τον καλύτερο έλεγχο της υγρασίας του εσωτερικού αέρα.

Συστήματα δροσισμού μέσω του εδάφους

Τα συστήματα δροσισμού μέσω του εδάφους χρησιμοποιούν τις θερμοκρασίες του εδάφους ή των υπογείων υδάτων για το δροσισμό του εσωτερικού αέρα του κτιρίου. Για παράδειγμα, μια αντλία θερμότητας μπορεί το καλοκαίρι να αντλήσει θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο προς το έδαφος κλιματίζοντας έτσι τον αέρα.

5. Δροσισμός μέσω του εδάφους

Α. Πώς χρησιμοποιείται η ενέργεια του εδάφους

Τα ακόλουθα είναι τα δύο κύρια συστήματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα κτίριο για θέρμανση και ψύξη.

Κλειστά συστήματα:

Μεταφορά θερμότητας χρησιμοποιώντας σωληνώσεις κάτω από το έδαφος ή μέσα στο νερό

Μπορεί κάποιος να μεταφέρει θερμότητα από το υπέδαφος ή από τα υπόγεια ύδατα χρησιμοποιώντας ένα κλειστό σύστημα. Ένα κλειστό σύστημα δουλεύει ως εξής:

- Πλαστικές σωληνώσεις θάβονται στο υπέδαφος ή στα υπόγεια ύδατα
- Ένα ρευστό κυκλοφορεί εντός των σωληνώσεων για να απορροφήσει ή να μεταδώσει θερμότητα από το / στο έδαφος
- Το θερμότερο / ψυχρότερο ρευστό επιστρέφει στο κτίριο, όπου ένας εναλλάκτης μεταδίδει τη θερμότητα από το ρευστό στο θερμό αέρα ή νερό ή το αντίθετο αν πρόκειται για δροσισμό.

- Ένας συμπιεστής αυξάνει τη θερμότητα / Ο συμπιεστής στην περίπτωση του δροσισμού λειτουργεί ανάποδα.
- Το θερμότερο / ψυχρότερο νερό ή αέρας κυκλοφορεί μέσα στο κτίριο. Ο αέρας κυκλοφορεί μέσα σε κοιλότητες και το νερό μέσα σε ακτινοβολητές ή πανέλα οροφής.

Ανοιχτά συστήματα:

Μεταφορά θερμότητας από / προς το νερό

Είναι δυνατόν να μεταδοθεί θερμότητα από νερό σε πηγάδια ή σε λίμνες χρησιμοποιώντας ένα ανοιχτό σύστημα. Η πηγή θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να μπορεί να αποθηκεύει ικανοποιητική ενέργεια. Το ανοιχτό σύστημα δουλεύει ως εξής:

- Το νερό αντλείται από ένα βαθύ πηγάδι, μία λίμνη ή έναν υδροφόρο ορίζοντα
- Το νερό διαβιβάζεται μέσω μιας αντλίας θερμότητας για την εναλλαγή θερμότητας ανάλογα με το αν πρόκειται για θέρμανση ή δροσισμό.
- Ένας συμπιεστής αυξάνει τη θερμότητα / Ο συμπιεστής στην περίπτωση του δροσισμού λειτουργεί ανάποδα.
- Το θερμότερο / ψυχρότερο νερό ή αέρας κυκλοφορεί μέσα στο κτίριο. Ο αέρας κυκλοφορεί μέσα σε κοιλότητες και το νερό μέσα σε ακτινοβολητές ή πανέλα οροφής.
- Το νερό επιστρέφει στην πηγή από όπου προήλθε

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου τρόπου δροσισμού παρατίθενται εν συνεχεία.

β. Πλεονεκτήματα

Η ενέργεια του εδάφους προσφέρει, εκτός από κλιματισμό το καλοκαίρι, επιπροσθέτως θέρμανση το χειμώνα και ζεστό νερό χρήσης όλο το χρόνο. Ένα μόνο σύστημα κάνει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες και απαιτεί μόνο το γύρισμα ενός διακόπτη για να αντιστρέψει τη λειτουργία της μονάδας για τη συγκεκριμένη εποχιακή χρήση. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν σταθερή, χαμηλού επιπέδου θέρμανση, η οποία αναιρεί την ανάγκη για χρήση θερμοστατών κατά τη νύχτα. Ένα

άλλο πλεονέκτημα είναι η απουσία των ρευμάτων τα οποία είναι συνήθη με τα συμβατικά συστήματα εξαναγκασμένης συναγωγής.

Τα συστήματα εδάφους δεν παράγουν οσμές που συναντώνται στους λέβητες φυσικού αερίου, προπανίου και πετρελαίου. Αυτό κάνει το συγκεκριμένο σύστημα κατάλληλο για πολύ καλά μονωμένα κτίρια ή για ανθρώπους που είναι αλλεργικοί ή ευαίσθητοι σε επιβλαβή αέρια και σε χαμηλή ποιότητα αέρα. Επειδή δεν υπάρχει καύση, τα συστήματα εδάφους δεν μπορούν να εκραγούν και δεν υπάρχει ανάγκη για αποθήκευση καυσίμου. Οι ασφαλιστικές εταιρίες συχνά κάνουν έκπτωση σε πολιτικές που χρησιμοποιούν την ενέργεια του εδάφους.

Περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα

Η ενέργεια του εδάφους μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πάνω από 66 % εν συγκρίσει με παρόμοια συστήματα που χρησιμοποιούν καύσιμα με βάση τον άνθρακα. Παρόλα αυτά, η μείωση εξαρτάται από την πηγή του ηλεκτρισμού που χρησιμοποιείται για να λειτουργήσουν τα στοιχεία του συστήματος.

Οικονομικά πλεονεκτήματα

Το κόστος λειτουργίας είναι πολύ χαμηλότερο από έναν λέβητα σε συνδυασμό με μία κλιματιστική μονάδα, παρόλα αυτά το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος εδάφους μπορεί να είναι μεγαλύτερο από την εγκατάσταση ενός λέβητα και ενός κλιματιστικού. Κατά μέσο όρο, το κόστος είναι περίπου 2/3 λιγότερο από ότι ένα συμβατικό σύστημα.

Είναι πιο αποδοτικό στη χρησιμοποίησή του από ότι ένας λέβητας ή ένα κλιματιστικό, επειδή απαιτεί λιγότερη ενέργεια για να μεταφέρει από ένα μέρος σε ένα άλλο από ότι χρειάζεται για την ψύξη ενός ισοδύναμου όγκου εξωτερικού αέρα με την ετήσια θερμοκρασιακή διακύμανσή του ή τη μετατροπή χημικής ενέργειας σε θερμική.

C. Προβλήματα με την ενέργεια από το έδαφος

Παρά το ότι είναι ακόμη μια πρόωπη τεχνολογία, έχει κάποια μειονεκτήματα. Η ενέργεια του εδάφους ίσως να απαιτεί κάποιο βοηθητικό σύστημα θέρμανσης ή ψύξης αν το απαιτούμενο φορτίο είναι μεγαλύτερο από ότι η γη μπορεί να απορροφήσει. Επίσης, το αρχικό κόστος εγκατάστασης μπορεί να είναι μεγαλύτερο από ότι για ένα συμβατικό, αλλά θα υπάρχει σίγουρα απόσβεση σε λίγα χρόνια.

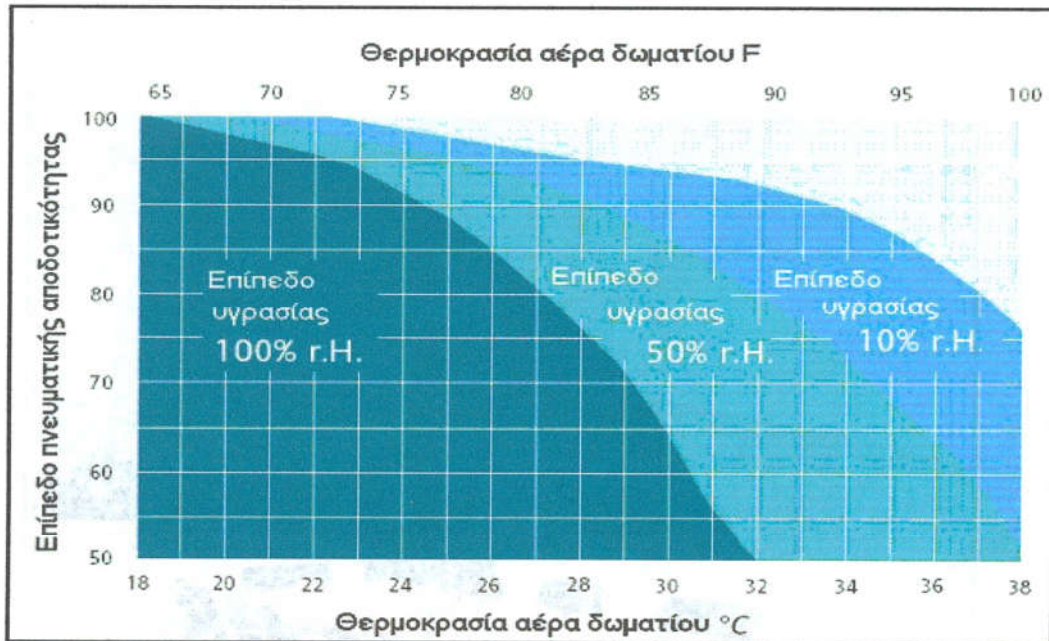
6. Οροφές δροσισμού

Η σημαντικότερη απαίτηση οποιουδήποτε κτιρίου είναι η θερμική άνεση των ενοίκων της. Ενώ διαφορετικές κλιματιστικές εφαρμογές ταιριάζουν σε διαφορετικά κτίρια, ένας κατάλληλος έλεγχος είναι απαραίτητος σε κάθε κατάσταση, όχι μόνο για να αποτρέψει τα προβλήματα που συνδέονται με μια ανθυγιεινή ατμόσφαιρα αλλά για να παρέχει και το καλύτερο δυνατό περιβάλλον στο οποίο μπορεί κάποιος να εργαστεί.

Ενώ πολλοί παράγοντες, όπως η υγεία, τα επίπεδα δραστηριότητας, ο κλιματισμός και οι κοινωνικές καταστάσεις μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ευημερία και την παραγωγικότητα των ενοίκων ενός κτιρίου, υπάρχουν πολυάριθμες μικροκλιματικές συνθήκες που επηρεάζονται άμεσα από τον κλιματισμό και τα συστήματα ψύξης που είναι εγκατεστημένα. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Θερμοκρασία του αέρα
- Ταχύτητα του αέρα
- Αναταραχή του αέρα
- Διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας
- Υγρασία του αέρα
- Ποιότητα του αέρα
- Θερμοκρασία των περιβαλλουσών θερμοκρασιών
- Θόρυβος
- Φωτισμός
- Χαρακτηριστικά του χώρου (π.χ. μέγεθος, χρώμα, θέα)

Έχει αποδειχθεί ότι η θερμοκρασία και η υγρασία μέσα σε ένα κτίριο έχουν επιπτώσεις στα επίπεδα αποδοτικότητας εργασίας. Το παρακάτω διάγραμμα επεξηγεί ακριβώς πόσο σημαντική είναι η βελτιστοποίηση του εργασιακού περιβάλλοντος έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί μέγιστη παραγωγικότητα.



Σχήμα 4. Επίπεδο πνευματικής αποδοτικότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας δωματίου

Α. Συμβατικά συστήματα κλιματισμού

Τα περισσότερα συμβατικά συστήματα κλιματισμού λειτουργούν με την αρχή της εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα, όπου ο θερμός αέρας του χώρου επανατροφοδοτείται, ψύχεται και επιστρέφει στο χώρο. Στα μοντέρνα γραφεία, η αυξημένη χρήση των Η/Υ και άλλων συσκευών υψηλής τεχνολογίας σημαίνει πως ολοένα και μεγαλύτερα θερμικά φορτία θα πρέπει να απάγονται από το περιβάλλον. Για να διατηρηθεί η άνεση σε τέτοιες συνθήκες, ένας μεγαλύτερος όγκος ψυχρού αέρα θα πρέπει να παρέχεται στο χώρο εργασίας, ο οποίος εν συνεχεία κάνει το δροσισμό μηδενικής ξηρότητας αρκετά δύσκολο.

β. Μια νέα ιδέα κλιματισμού του αέρα (air – conditioning)

Η τεχνολογία οροφών δροσισμού ακολουθεί μια διαφορετική αρχή. Η οροφή ψύχεται με κρύο νερό που διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων εμβαπτιζόμενες στο πίσω μέρος ψυκτικών πανέλων, ή με κρύο αέρα που περνάει μέσα από τα πανέλα.



Σχήμα 5. Πανέλα δροσισμού σε χώρο γραφείου

Τα πανέλα οροφής λειτουργούν ως εναλλάκτες θερμότητας μεταξύ των θερμικών φορτίων στο δωμάτιο και του ψυχρού νερού ή αέρα. Η εναλλαγή θερμότητας συμβαίνει κυρίως μέσω ακτινοβολίας / απορρόφησης. Η εκπεμπόμενη θερμότητα από το χώρο ακτινοβολείται από τις πιο ζεστές πηγές θερμότητας στην ψυχρότερη οροφή.

C. Πώς λειτουργούν οι οροφές δροσισμού

Η ακτινοβολία ενέργειας λαμβάνει χώρα μεταξύ αντικειμένων με διαφορετική επιφανειακή θερμοκρασία. Σε όλες τις περιπτώσεις, το θερμότερο αντικείμενο ακτινοβολεί θερμότητα προς το ψυχρότερο. Ακριβώς όπως ο θερμός ήλιος ακτινοβολεί θερμότητα προς την ψυχρότερη γη, σε ένα δροσιζόμενο χώρο μέσω ακτινοβολίας, τα μηχανήματα, οι άνθρωποι και άλλες πηγές θερμότητας θα ακτινοβολήσουν θερμότητα προς την ψυχρότερη επιφάνεια της οροφής. Ως πρόσθετο πλεονέκτημα, οι ένοικοι αντιλαμβάνονται την μετάδοση θερμότητας μέσω ακτινοβολίας ιδιαίτερα ευχάριστα. Επιπροσθέτως, συμβαίνει και δροσισμός μέσω

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

συναγωγής καθώς ο αέρας του χώρου ψύχεται καθώς ρέει κάτω από τα πανέλα δροσισμού. Ο ψυχρός αέρας είναι βαρύτερος από το θερμότερο αέρα που ανεβαίνει από τις θερμότερες επιφάνειες, πράγμα που σημαίνει χαμηλής ταχύτητας και μεγάλου όγκου φυσικά αέρια ρεύματα.



Σχήμα 6. Συναρμογή πανέλων

Φ. Αντίκτυπος οροφών δροσισμού

Άνεση

Το ανθρώπινο σώμα αποδίδει θερμότητα στον περιβάλλον χώρο του ως αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών, χάνοντας θερμότητα με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

- Με εκπομπή θερμότητας μέσω του δέρματος και ακτινοβολώντας προς θερμότερες επιφάνειες
- Με τη ροή ψυχρότερου αέρα πάνω από το δέρμα και ψυχόμενο συνεπώς λόγω ελεύθερης συναγωγής
- Με εξάτμιση υγρασίας μέσω της αναπνοής και της εφίδρωσης.



Εμφανώς, για τη θερμική άνεση των ενοίκων, ο σκοπός είναι να ελαττωθεί η εφίδρωση και η ξηρότητα όσο το δυνατόν πιο πολύ.

Η ψυχρή επιφάνεια μιας οροφής δροσισμού με ακτινοβολία είναι ένας ιδανικός αποδέκτης για τη μετάδοση θερμότητας με το δέρμα. Η ικανότητα για την ήσυχη, αρκετά ευχάριστη μετάδοση θερμότητας που συμβαίνει μέσω ακτινοβολίας είναι σχεδόν διπλάσια από αυτήν που είναι αλλιώς διαθέσιμη όταν η οροφή δεν ψύχεται.

Η εναλλαγή θερμότητας μέσω ακτινοβολίας συμβαίνει ήσυχα και ευχάριστα

Οι ρυθμοί συναγωγής και ειδικά της εξάτμισης μειώνονται, καθώς τα ρεύματα αέρα εντός του χώρου μειώνονται στο ελάχιστο. Οι οροφές δροσισμού με ακτινοβολία προσφέρουν ευχάριστο, χωρίς ρεύματα και θόρυβο κλιματισμό αέρα.

Ενέργεια

Η ενέργεια που απαιτείται για το δροσισμό εξαρτάται άμεσα από τα θερμικά φορτία στο χώρο. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η επιθυμητή θερμοκρασία αέρα του χώρου. Είναι εμφανές ότι η ψύξη ενός χώρου στους 25 °C αντί για 23 °C, απαιτεί λιγότερη ενέργεια.



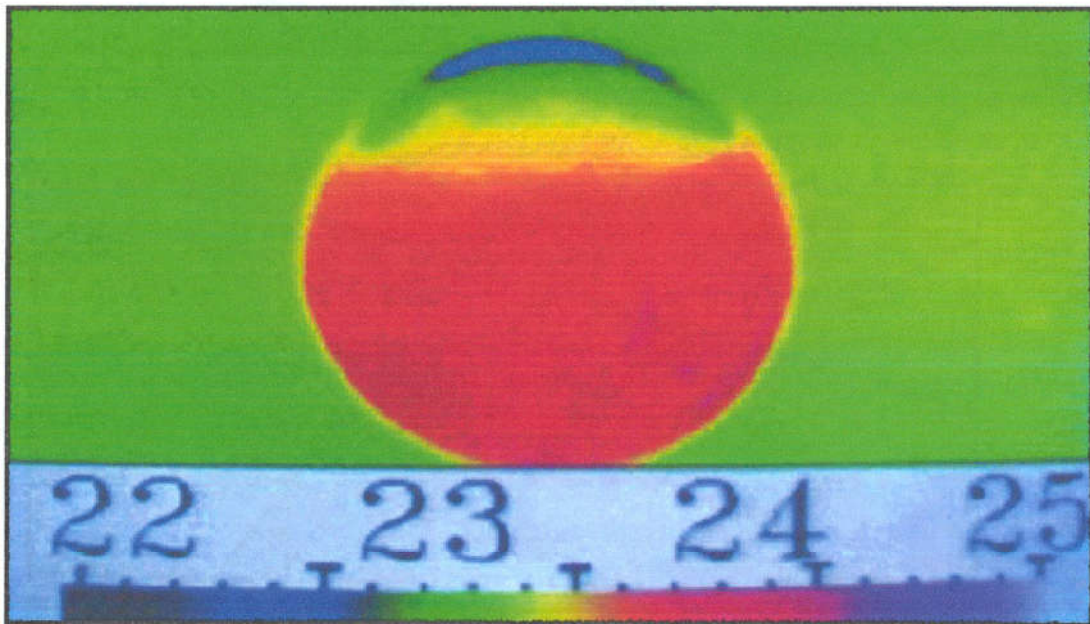
Σχήμα 7. Οι οροφές δροσισμού είναι κατάλληλες για χώρους όπου η αισθητή θερμότητα πρόκειται να απομακρυνθεί από τις κλιματιζόμενες περιοχές

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

Μέσω της οροφής δροσισμού με ακτινοβολία, το ανθρώπινο σώμα ακτινοβολεί θερμότητα στις περιβάλλουσες ψυχρότερες επιφάνειες και ο ανθρώπινος εγκέφαλος λαμβάνει μια μεγαλύτερη θερμική άνεση σε υψηλότερη θερμοκρασία αέρα χώρου από ότι με συμβατικές μονάδες κλιματισμού με συναγωγή. Αυτή η αντίδραση του ανθρώπινου σώματος ερμηνεύεται μέσω της θερμοκρασίας που αισθάνεται το σώμα, το οποίο αντιδράει στο πόσο θερμό νιώθει τον αέρα στο χώρο.

Μια εξήγηση για αυτό το φαινόμενο δίνεται στο παρακάτω σχήμα μιας μπάλας επιτραπέζιας αντισφαίρισης (Ping – Pong). Η επιφάνεια που αντικρίζει την οροφή είναι πιο ψυχρή από την υπόλοιπη επιφάνεια.

Οι άνθρωποι εκπέμπουν ένα μεγάλο ποσό θερμότητας από το κεφάλι. Μέσω της ακτινοβολίας θερμότητας από το κεφάλι προς την ψυχρότερη επιφάνεια, η αισθητή θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την πραγματικά μετρούμενη θερμοκρασία.



Σχήμα 8. Εδώ φαίνεται καθαρά η επίδραση μιας οροφής δροσισμού σε οποιοδήποτε σώμα απορροφώντας μεγαλύτερα ποσά θερμότητας από την επιφάνεια που έχει οπτική επαφή με την οροφή

Κόστος

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγικότητα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, δείχνει ακριβώς πόσο γρήγορα η διαμόρφωση ενός ευχάριστου εργασιακού περιβάλλοντος αποδίδει. Ενώ το κόστος των διαφόρων συστημάτων κλιματισμού εξαρτώνται κυρίως από πολλούς παράγοντες, μπορεί κανείς να υποθέσει γενικά ότι η επένδυση κεφαλαίου και το λειτουργικό κόστος για τις οροφές δροσισμού με ακτινοβολία θα είναι χαμηλότερα σε σύγκριση με τα συμβατικά κλιματιστικά συστήματα. Τα συστήματα δροσισμού με ακτινοβολία μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και συνεπώς και το κόστος της ενέργειας. Επίσης, άλλα πλεονεκτήματα είναι η χωρίς προβλήματα συντήρησή τους και ο αυξημένος ελεύθερος χώρος εντός του δροσιζόμενου δωματίου.

Τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού που παρέχουν πλήρη κλιματισμό για διάφορους χώρους απαιτούν κρύο νερό 6 έως 8 °C για την αφύγρανση.

Η εφαρμογή των οροφών δροσισμού έχει νόημα εάν μόνο η αισθητή θερμότητα πρόκειται να απομακρυνθεί από τις κλιματιζόμενες περιοχές. Αυτό μπορεί να ισχύσει για περιοχές με υψηλά εσωτερικά ψυκτικά φορτία καθώς επίσης και για μερικές κλιματιζόμενες περιοχές. Γενικά, μια θερμοκρασία ψυχρού ύδατος 18 °C είναι ικανοποιητική για αυτόν το λόγο.



Σχήμα 9. Πανέλα εμβαπτισμένα στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου (σκυρόδεμα)

Το σύστημα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με χαμηλότερες θερμοκρασίες χωρίς τον κίνδυνο συμπύκνωσης. Η μικρή διαφορά θερμοκρασίας σημαίνει ότι περίπου 30% έως 50% της οροφής θα πρέπει να είναι διαθέσιμη ως επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας.



Σχήμα 10. Η οροφή δροσίσιμου δεν αποτελεί αντιαισθητική λύση στο πρόβλημα του κλιματισμού

Η τεχνολογία είναι βασισμένη στην θερμική ανταλλαγή μεταξύ της θερμότητας σε ένα χώρο και των οροφών δροσίσιμου. Οι οροφές δροσίσιμου έχουν ψυχρό νερό που ρέει μέσω των στενών σωλήνων που είναι συνδεδεμένοι στην πίσω πλευρά των πανέλων. Καθώς η οροφή θερμαίνεται από τη θερμότητα εντός του χώρου, τα πανέλα διαβιβάζουν τη θερμότητα από την οροφή στο ψυχρό νερό. Καθώς το νερό φεύγει από το χώρο, μεταφέρει και τη θερμότητα μαζί του. Να σημειωθεί πως το νερό έχει 300 % μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από ότι ο αέρας.

Εφόσον οι οροφές δροσίσιμου απορροφούν τη θερμότητα άμεσα, το ποσό του αέρα που πρέπει να κλιματιστεί μειώνεται πάρα πολύ. Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθος του κλιματιστικού συστήματος μειώνεται επίσης, το οποίο με τη σειρά του μειώνει το λειτουργικό κόστος κατά περίπου 30 %.

Κατασκευαστική λύση και για υπάρχουσες κατοικίες

Οι οροφές αυτές μπορούν να εφαρμοστούν και σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, αφού η παλιά οροφή διαμορφωθεί κατάλληλα, καθώς επίσης και μπορούν να εφαρμοστούν και σε έναν ξεχωριστό όροφο χωρίς να υπάρχει η απαίτηση να εφαρμοστεί η κατασκευαστική αυτή λύση σε όλο το κτίριο.



Σχήμα 11. Η ένταξη των οροφών δροσισμού στο χώρο γίνεται χωρίς να επηρεάζονται τα υπόλοιπα στοιχεία του χώρου (όπως γίνεται με τα κλιματιστικά)

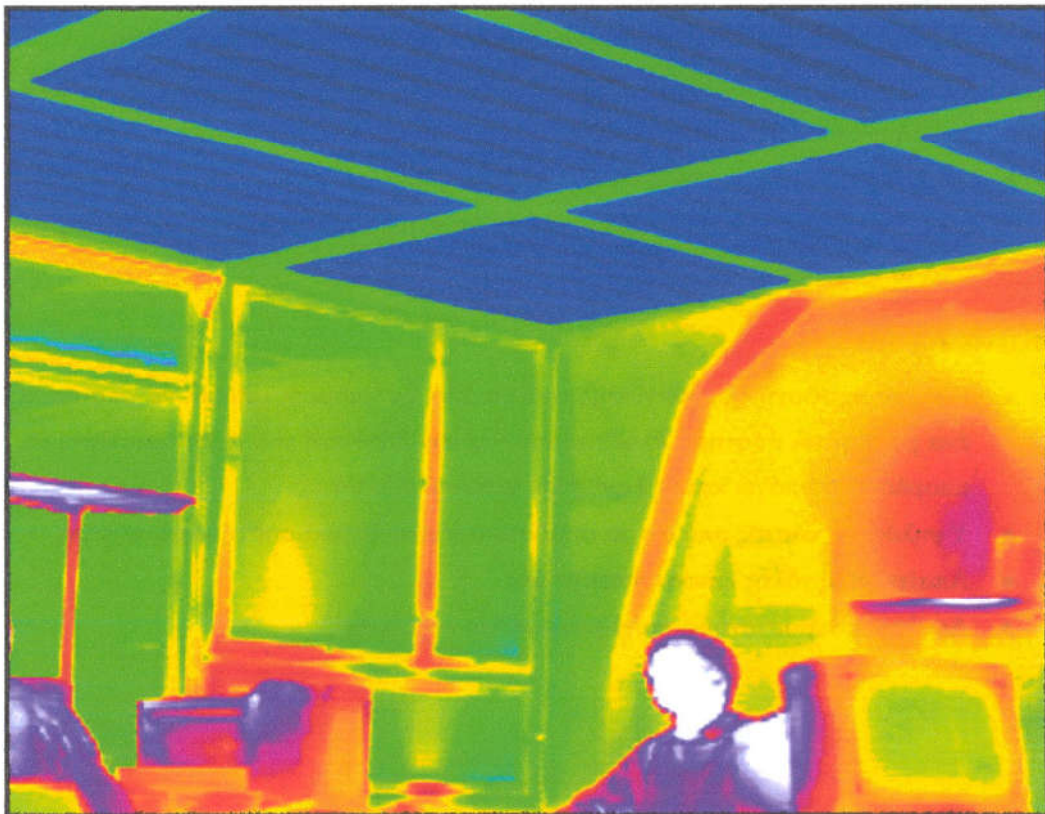
Τα συστήματα ψύξης με ακτινοβολία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα περισσότερα εμπορικά κτίρια εφόσον δεν υπάρχουν υπερβολικά εσωτερικά θερμικά κέρδη. Λόγω της περιορισμένης ψυκτικής ικανότητας των οροφών δροσισμού, ένα σύστημα ψύξης με ακτινοβολία δεν θα ήταν σε θέση να διατηρήσει τα επίπεδα άνεσης στα κτίρια με τα υψηλά φορτία φωτισμού (π.χ. σε κοσμηματοπωλεία) ή τα φορτία παραγωγής (π.χ. σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις). Αντιθέτως, τα συστήματα με ακτινοβολία είναι η ιδανική επιλογή στα κτίρια ή τους χώρους όπου η ατμοσφαιρική ποιότητα είναι σημαντική (νοσοκομεία και χειρουργεία). Με τα

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

συστήματα ακτινοβολίας, μόνο ο αέρας εξαερισμού πρέπει να φιλτραριστεί αντίθετα με το πλήρες σύστημα HVAC, όπως στα συστήματα που λειτουργούν με αέρα.

Είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν τα εσωτερικά και τα ηλιακά κέρδη για να διατηρηθεί το μέγεθος (και το κόστος) των πανέλων δροσισμού όσο το δυνατόν μικρότερο.

Το ποσό της εναλλαγής θερμότητας εξαρτάται από την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας. Ο αέρας σε επαφή με μια δροσιζόμενη οροφή θα κατέλθει με φυσικό τρόπο καθώς δροσίζεται αυξάνοντας τη ροή του αέρα κάτω από τα πανέλα. Αντιθέτως, ο αέρας σε επαφή με μία θερμή οροφή θα στρωματοποιούνται στο ψηλότερο σημείο και θα είχε χαμηλή μετάδοση θερμότητας. Σαν οδηγός για την ταξινόμηση συστημάτων, το συνολικό ποσοστό μετάδοσης θερμότητας (συνδυασμός ακτινοβολίας και μεταφοράς) είναι περίπου $11 \text{ W/m}^2 / ^\circ\text{C}$ διαφορά θερμοκρασίας για τις οροφές δροσισμού.



Σχήμα 12. Φωτογραφία από θερμοκάμερα σε χώρο όπου υπάρχουν οροφές δροσισμού

Τα συστήματα ακτινοβολίας είναι αποδοτικότερα από τα αντίστοιχα συστήματα που βασίζονται στον αέρα. Απαιτούν λιγότερη «παρασιτική ενέργεια» (ενέργεια αντλιών και ανεμιστήρων) για να αντλήσουν τη θερμότητα. Οι χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας σημαίνουν ότι τα Boilers μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικότερα. Τέλος, επειδή η οροφή ψύχεται μέσω ακτινοβολίας, η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να είναι πιο θερμή για να επιτευχθεί το ίδιο επίπεδο άνεσης. Αυτές οι υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα οδηγούν στις χαμηλότερες απώλειες θερμότητας μέσω του κελύφους του κτιρίου.

Ε. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Εν κατακλείδι, οι οροφές δροσισμού παρέχουν κάποια πλεονεκτήματα, αλλά και κάποια μειονεκτήματα έναντι των συμβατικών συστημάτων κλιματισμού. Συνοπτικά, αυτά είναι:

Πλεονεκτήματα

- Παρέχουν πιο ομοιόμορφο δροσισμό του χώρου
- Δεν έχουν τα προβλήματα θορύβου και ρευμάτων που έχουν τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού με αέρα
- Χαμηλότερη παρασιτική κατανάλωση ενέργειας (για αντλίες και ανεμιστήρες)
- Υψηλότερη θερμοκρασία αέρα και συνεπώς μειωμένες απώλειες θερμότητας από το κέλυφος

Μειονεκτήματα

- Για την αποφυγή συμπύκνωσης στα πανέλα δροσισμού, μπορεί να απαιτηθεί ένα βοηθητικό σύστημα κλιματισμού για την ξήρανση του αέρα έτσι ώστε να μπορέσει να απάγει και το λανθάνον ψυκτικό φορτίο
- Υψηλότερο κόστος από ότι τα συμβατικά κλιματιστικά συστήματα με αέρα
- Απαιτήση μεγάλης επιφάνειας οροφής
- Απαιτήση αεροστεγούς, καλά μονωμένου κελύφους

Κεφάλαιο

3

Θερμική άνεση

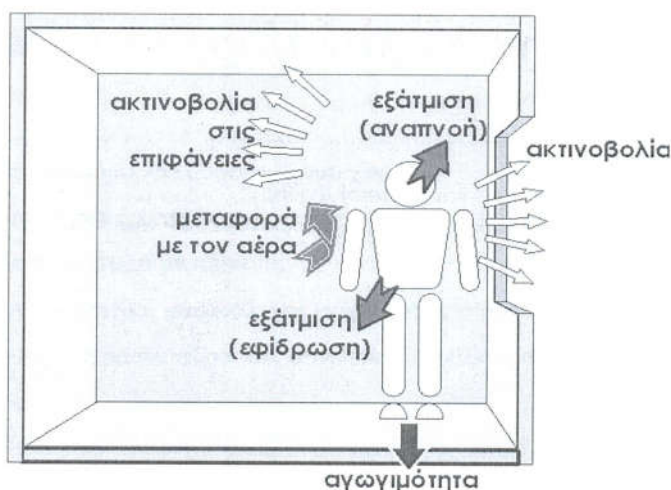
Περιεχόμενα κεφαλαίου:

1. Θερμική άνεση	36
<i>A. Εισαγωγή</i>	36
<i>B. Αποδεκτές συνθήκες για θερμική άνεση</i>	37
<i>C. Εκτίμηση της θερμικής άνεσης - Οι δείκτες PMV και PPD</i>	46
2. Οπτική άνεση	50

1. Θερμική άνεση

Α. Εισαγωγή

Όταν το ζητούμενο είναι μόνο η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο, ο απλούστερος και φαινομενικά οικονομικότερος τρόπος για να επιτευχθεί ο σκοπός δεν είναι άλλος από την περίσφιξη των δαπανών για κλιματισμό όσον αφορά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η αίσθηση ψύχους όμως που ίσως νιώθουν οι ένοικοι λόγω της κακής χρήσης του κλιματιστικού συστήματος (άνοιγμα στο πλήρες φορτίο του για λίγο και μετά κλείσιμό του για εξοικονόμηση ενέργειας) δε μεταφράζεται δυστυχώς σε χρηματική αξία.

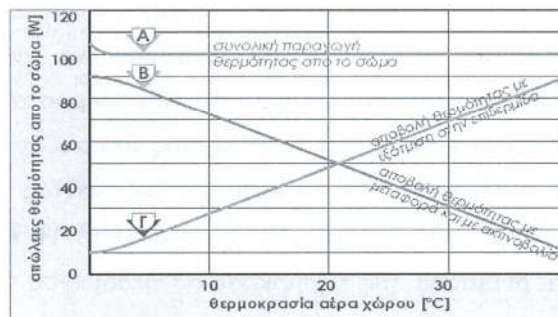


Σχήμα 1. Θερμική επικοινωνία του ανθρώπου με τον εσωτερικό χώρο. Στο σχήμα φαίνονται μόνο οι θερμικές απώλειες. Με εξαίρεση την εξάτμιση, οι υπόλοιπες θερμικές ροές μπορούν να έχουν και το χαρακτήρα της προσόδου.

Επειδή η αντίληψη των συνθηκών του περιβάλλοντος ενός ανθρώπου είναι πολύ γενική και ασαφής έννοια, δεδομένου ότι αλλιώς αντιλαμβάνεται ο καθένας τη θερμότητα και τη δροσιά, διάφοροι επιστημονικοί κλάδοι στο παρελθόν έχουν αναπτύξει αριθμητικές μεθόδους, ώστε να προδιαγράφονται σε κάθε περίπτωση τα αποδεκτά όρια μέσα στα οποία οφείλουν να βρίσκονται διάφορα φυσικά μεγέθη (θερμοκρασία αέρα, μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, σχετική ταχύτητα αέρα και σχετική υγρασία).

Β. Αποδεκτές συνθήκες για θερμική άνεση.

Ως θερμική άνεση (*thermal comfort*) ορίζεται η πνευματική κατάσταση η οποία εκφράζει ικανοποίηση από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Είναι ίσως απλούστερο να κατανοηθεί η αντίθετη κατάσταση της θερμικής άνεσης η θερμική όχληση ή δυσφορία (*thermal discomfort*). Έτσι, θερμική όχληση συμβαίνει όταν ο άνθρωπος κρυώνει ή ζεσταίνεται. Το ίδιο συμβαίνει και όταν η αντίληψή του για τη θερμοκρασία δεν είναι κοινή σε όλο το σώμα (π.χ. να κρυώνουν τα πέλματά του ή να δέχεται ένα μέρος του σώματός του ψυχρό ρεύμα αέρα σε ένα σχετικά ζεστό περιβάλλον ενός δωματίου).



Σχήμα 2. Απώλειες θερμότητας από το σώμα σε σχέση με τη θερμοκρασία του χώρου.

Ένας απλούστερος εμπειρικός ορισμός της θερμικής άνεσης είναι ο παρακάτω:

Ως θερμική άνεση μπορεί να ορίσει κανείς την κατάσταση του περιβάλλοντος χώρου κατά την οποία οι περισσότεροι χρήστες του δεν αισθάνονται ούτε ενοχλητική ζέση ούτε ενοχλητικό κρύο, ή ακόμη καλύτερα, δεν τους απασχολούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

Όπως εύκολα μπορεί να αντιληφθεί κανείς, δεν υπάρχει μια δεδομένη-βέλτιστη κατάσταση θερμικής άνεσης η οποία να είναι αποδεκτή από όλους. Διαφορετική αντίληψη για τις περιβαλλοντικές συνθήκες έχει ένα παιδί, διαφορετικές ένας ηλικιωμένος. Το ίδιο συμβαίνει και με τη σωματική δραστηριότητα του ανθρώπου. Σε ένα γυμναστήριο, αυτός που αθλείται θεωρεί ότι «έχει ζέστη» ενώ κάποιος που κάθεται μπορεί να κρυώνει.

Πέρα από τα φυσικά μεγέθη που προαναφέρθηκαν, σημαντική συμμετοχή στη διαμόρφωση της θερμικής άνεσης έχουν άλλες παράμετροι όπως το επίπεδο ένδυσης και η σωματική δραστηριότητα. Για να γίνει πλήρως κατανοητή η έννοια της θερμικής άνεσης αξίζει να γίνει μια σύντομη αναφορά σε διάφορες βασικές σωματικές λειτουργίες.

Ο άνθρωπος έχει ένα εξαιρετικά λειτουργικό σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματός του, ώστε τα ζωτικά του όργανα να διατηρούνται σε θερμοκρασία περίπου 37°C. Το «κέντρο ελέγχου» αυτού του συστήματος βρίσκεται στον υποθάλαμο, έναν αδένα της βάσης του εγκεφάλου. Ο υποθάλαμος, πέρα από τις άλλες του λειτουργίες έχει και αυτή του θερμοστάτη που συνδέεται με δυο όργανα ανίχνευσης στο δέρμα, ένα για την εξερχόμενη και ένα για την εισερχόμενη θερμότητα. Η θερμοκρασία ενεργοποίησης αυτού του θερμοστάτη βρίσκεται κοντά στους 37°C. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντός του αυξάνει, λαμβάνουν χώρα δυο διαδικασίες: αρχικά διαστέλλονται οι αρτηρίες αυξάνοντας τη ροή του αίματος κάτω από την επιδερμίδα και έτσι αρχίζει η εφίδρωση. Η εφίδρωση είναι μια αποδοτική λειτουργία ρύθμισης της θερμοκρασίας δεδομένου ότι η ενέργεια που απαιτείται για την εξάτμιση του ιδρώτα λαμβάνεται από την επιδερμίδα μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία της. Αντίθετα, όταν μειώνεται η περιβαλλοντική θερμοκρασία, επέρχεται αγγειοσυστολή μειώνοντας τη ροή του αίματος και συνεπώς την αποβολή θερμότητας δια μέσου της επιδερμίδας. Η δεύτερη αντίδραση του οργανισμού είναι η ακούσια αύξηση της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας μέσω της σωματικής δραστηριότητας με τον ερεθισμό των μυών ο οποίος προκαλεί ρίγος. Αυτή η λειτουργία δεν έχει απεριόριστο εύρος ισχύος, αλλά σε κάθε άνθρωπο περιορίζεται εντός ενός συγκεκριμένου θερμοκρασιακού εύρους, ανάλογα με ένα πλήθος υποκειμενικών (ενδυμασία, δραστηριότητα, αντοχή) και αντικειμενικών παραγόντων (θερμοκρασία κλπ).

Σε χαμηλές θερμοκρασίες χώρου, το σώμα αποβάλλει θερμότητα κυρίως με ακτινοβολία και μεταφορά (Σχήμα 2). Σε συνήθεις θερμοκρασίες, οι απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία ή μεταφορά και με εξάτμιση σχεδόν μοιράζονται. Σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες χώρου, όταν η θερμοκρασία αέρα και τοίχων υπερβεί τη θερμοκρασία της επιδερμίδας, τότε η θερμική ακτινοβολία από το σώμα (προς το ψυχρότερο περιβάλλον) περιορίζεται και αυξάνει σταδιακά η αποβολή θερμότητας με εξάτμιση του ιδρώτα. Όσο η θερμοκρασία χώρου πλησιάζει τη θερμοκρασία της

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

επιδερμίδας, τότε, το μεγαλύτερο μέρος των θερμικών απωλειών από το σώμα πραγματοποιείται με εξάτμιση. Αν τώρα, ο αέρας του χώρου έχει υψηλή σχετική υγρασία, η δυνατότητα για εξάτμιση περιορίζεται μια και ο αέρας δεν μπορεί να δεχθεί τους υδρατμούς. Για μεγάλες τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας, το σώμα αδυνατεί να αποβάλει αξιόλογη θερμότητα με αποτέλεσμα σταδιακά να υπερθερμαίνεται με κίνδυνο θερμοπληξίας ή σοβαρής βλάβης των ζωτικών οργάνων.

Ο άνθρωπος αισθάνεται θερμικά άνετα όταν δεν υφίσταται θερμική όχληση.

Η πρώτη συνθήκη θερμικής άνεσης λοιπόν, είναι η θερμική ουδετερότητα που σημαίνει ότι κάποιος δεν αισθάνεται ούτε κρύο ούτε ζέστη.

Η δεύτερη συνθήκη είναι αυτή της ενεργειακής ισορροπίας του σώματος: Η ενέργεια που παράγεται κατά το μεταβολισμό πρέπει να ισούται με το σύνολο των θερμικών απωλειών από το σώμα.

Ο Fanger, ο οποίος πρώτος ασχολήθηκε εντατικά με το αντικείμενο της θερμικής άνεσης, έχει διατυπώσει με γενικό τρόπο αυτή την ενεργειακή ισορροπία:

$$S=M\pm W\pm R\pm C-E$$

Όπου:

S = ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας

M = ενέργεια που απελευθερώνεται με το μεταβολισμό

W = σύνολο μηχανικού έργου που παράγει το σώμα. Για συνήθεις δραστηριότητες θεωρείται αμελητέα

R = απώλεια θερμότητας με ακτινοβολία

C = απώλεια θερμότητας με μεταφορά στον αέρα που βρίσκεται σε επαφή με το δέρμα

E = απώλεια θερμότητας με εξάτμιση από την επιδερμίδα

Η θερμική ουδετερότητα επιτυγχάνεται όταν $S=0$.

Οι παράμετροι αυτής της ενεργειακής ισορροπίας αναλύονται στη συνέχεια.

Δραστηριότητα και Ρυθμός Μεταβολισμού

Ο μεταβολισμός μετριέται σε μονάδες Met (όπου $1 \text{ Met} = 58.15 \text{ W/m}^2$ για κάθε μονάδα επιφανείας της επιδερμίδας). Ένας τυπικός ενήλικας έχει συνολική επιφάνεια σώματος περίπου $1,7 \text{ m}^2$. Αυτό σημαίνει ότι ένας άνθρωπος που αισθάνεται θερμικά άνετα, με σωματική δραστηριότητα της τάξης του 1 Met παρουσιάζει θερμικές απώλειες περίπου ίσες με 100W. Κατά τη διάρκεια του ύπνου, εμφανίζεται η ελάχιστη σωματική δραστηριότητα (0,8 Met) και η μέγιστη (10 Met) εμφανίζεται σε ορισμένους αθλητές υπό έντονη καταπόνηση. Τυπικές τιμές του επιπέδου δραστηριότητας απεικονίζει ο Πίνακας 1.

Πίνακας 1. Ρυθμός μεταβολισμού για διάφορες δραστηριότητες

Δραστηριότητα	W/m ²	Met
Ύπνος	46	0,80
Ανάπαυση (καθιστός)	58	1,00
Εργασία γραφείου	70	1,20
Οδήγηση	80	1,40
Όρθιος, ελαφρά δραστηριότητα (ψώνια κ.λ.π.)	93	1,60
Μέτρια δραστηριότητα	116	2,00
Βάδισμα 2km/h	110	1,90
Βάδισμα 3km/h	140	2,40
Βάδισμα 4km/h	165	2,80
Βάδισμα 5km/h	200	3,40
Τρέξιμο 15km/h	550	9,50

Επίπεδο ένδυσης

Τα ρούχα λειτουργούν ως θερμομονωτική στρώση που μειώνει τη θερμική επικοινωνία μεταξύ επιδερμίδας και περιβάλλοντος (εξάτμιση, ακτινοβολία και μεταφορά). Το μέγεθος το οποίο χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει το επίπεδο ένδυσης, είναι το 1 Clo (όπου $1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$).

Πίνακας 2. Ενδεικτικές τυπικές τιμές CLO για διάφορα είδη ένδυσης¹

Θερμική μόνωση	$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$	clo
Γυμνό σώμα	0	0
Κοντό παντελονάκι	0,015	0,1
Ελαφρά ενδυμασία εργασίας	0,11	0,7
Επαγγελματικό κοστούμι	0,23	1,5
Παλτό	0,94	0,6
Κάλτσες	0,03	0,02

Μια μηδενική τιμή μεταφράζεται σε απουσία ένδυσης ενώ η μονάδα αντιστοιχεί σε τυπικό ντύσιμο για εργασία γραφείου. Τυπικές τιμές του επιπέδου ένδυσης φαίνονται στον Πίνακα 2. Σημειώνεται ότι η συνολική τιμή προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους τιμών.

Οι υποκειμενικές παράμετροι που προαναφέρθηκαν εξαρτώνται από την αντίληψη του χρήστη και τις συνήθειες του και δεν μπορούν να ελεγχθούν κατά το σχεδιασμό. Αντίθετα, οι αντικειμενικές παράμετροι, αποτελούν παραμέτρους του εσωκλίματος, οι οποίες σε πολύ μεγάλο βαθμό προδιαγράφονται κατά το σχεδιασμό του κτιρίου.

¹ Το συνολικό επίπεδο θερμομόνωσης ενός ανθρώπου προκύπτει με την άθροιση των δεικτών clo κάθε ενδύματος ξεχωριστά.

Συσχέτιση παραμέτρων για την εκτίμηση της θερμικής άνεσης.

Οι παράμετροι οι οποίες διαμορφώνουν τις γενικές συνθήκες άνεσης σε ένα κλειστό χώρο και οι οποίες μπορούν να ελεγχθούν από το μελετητή είναι:

- Η θερμοκρασία αέρα του χώρου
- Η θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών (Πρακτικά, γίνεται χρήση της θερμοκρασίας των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο (οροφή, δάπεδο και τοίχοι) οι οποίες συνιστούν τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας που προαναφέρθηκε νωρίτερα)
- Η υγρασία του αέρα του χώρου
- Η κίνηση του αέρα στο χώρο (ανεμορροή)
- Η ποιότητα του αέρα
- Ο θόρυβος
- Ο φωτισμός του χώρου (φυσικός / τεχνητός)

Οι τέσσερις πρώτες παράμετροι είναι αυτές που διαμορφώνουν το αίσθημα της θερμικής άνεσης και μαζί με τις υπόλοιπες τρεις καθορίζουν την ποιότητα του εσωκλίματος σε ένα κτίριο. Ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν τις ενεργειακές ανταλλαγές του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον του και κατ' επέκταση ο τρόπος που επιδρούν στη θερμική άνεση είναι:

- Η θερμοκρασία και η κίνηση του αέρα συμβάλει στην ανταλλαγή θερμότητας με μεταφορά
- Η θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών στην ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία
- Η σχετική υγρασία του αέρα στην αποβολή θερμότητας από την επιδερμίδα με εξάτμιση

Η θερμοκρασία του αέρα

Περισσότερη από τη μισή ποσότητα θερμότητας που αποβάλλει το ανθρώπινο σώμα, μεταβιβάζεται με μεταφορά στον αέρα.

Η επιλογή της επιθυμητής θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου γίνεται πάντα με κριτήρια οικονομίας και άνεσης. Ακόμη και διαφορά 1°C στην επιθυμητή θερμοκρασία θέρμανσης ενός χώρου μπορεί να έχει αξιόλογη επίδραση στην κατανάλωση του συστήματος θέρμανσης.

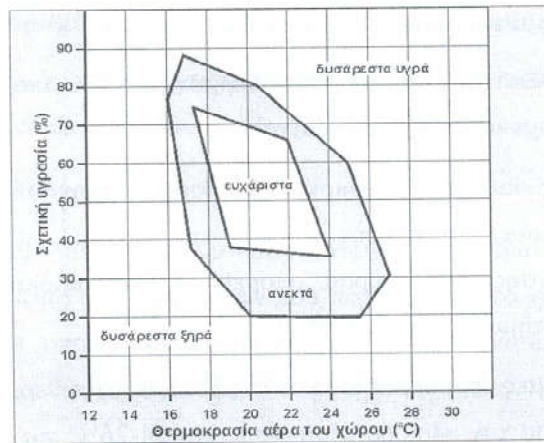
Ενδεικτικές τιμές θερμοκρασίας που συμβάλλουν στη θερμική άνεση είναι της τάξης των 20-22°C για την περίοδο θέρμανσης και 24-26°C για την περίοδο ψύξης. Ωστόσο, ανάλογα με τη δραστηριότητα που εκτελείται μέσα σε ένα χώρο, αυτές οι τιμές αναπροσαρμόζονται κατά περίπτωση

Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αέρα ενός χώρου δεν είναι σταθερή σε όλο το ύψος του χώρου, όταν αναφερόμαστε σε αυτό το μέγεθος θεωρούμε συνήθως τη μέση θερμοκρασία του αέρα στο ύψος του μέσου ανθρώπινου σώματος (1,70m). Ανάλογα με το σύστημα θέρμανσης και το επίπεδο θερμομόνωσης του κτιρίου, η κατανομή της θερμοκρασίας μπορεί να έχει διάφορες μορφές. Η πλέον επιθυμητή είναι αυτή της σταθερής θερμοκρασιακής κατανομής καθ' ύψος του κτιρίου γιατί τότε ένας άνθρωπος θα νιώθει την ίδια θερμοκρασία σε όλο του το σώμα (πόδια-κεφάλι), ανεξάρτητα από τη θέση του (καθιστός-όρθιος).

Η υγρασία του αέρα

Η θερμοκρασία την οποία αισθάνεται ο άνθρωπος εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό και από τις τιμές της υγρασίας του αέρα του χώρου. Για παράδειγμα άνεση εξασφαλίζεται με 24°C και 35% αλλά και με 18°C και 70% (Σχήμα 3)

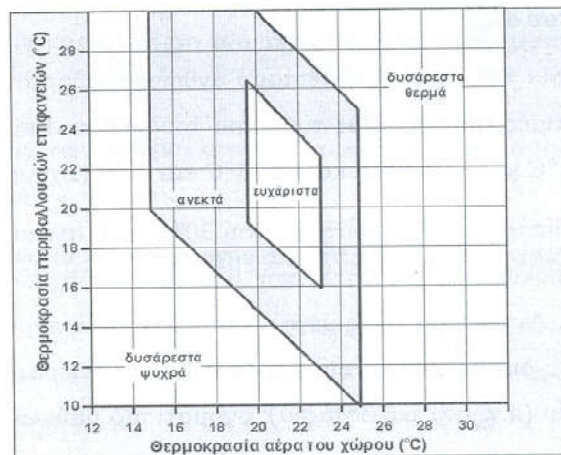
Τιμές σχετικής υγρασίας μικρότερες του 30% είναι ανεπιθύμητες από άποψη υγιεινής μια και προκαλούν ξηρότητα στη βλεννογόνο, σχηματισμό σκόνης και στατικό ηλεκτρισμό. Αντίστοιχα τιμές μεγαλύτερες από 60% παρόλο που βρίσκονται στα επίπεδα άνεσης, διευκολύνουν την υγροποίηση των υδρατμών στις δροσερές επιφάνειες του χώρου (π.χ. στα υαλοστάσια), σχηματισμό μούχλας και διευκολύνουν τη δημιουργία οσμών που μπορούν να ερεθίσουν τα οσφρητικά όργανα του ανθρώπου και είναι καλό να αποφεύγονται.



Σχήμα 3. Συσχέτιση της θερμοκρασίας αέρα και της σχετικής υγρασίας με το επίπεδο θερμικής άνεσης.

Η Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών)

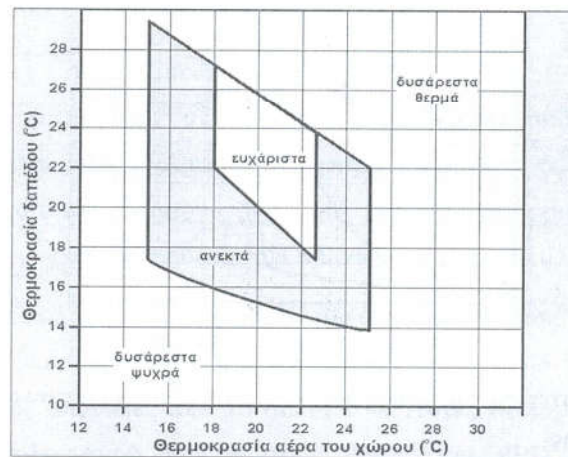
Η μέση θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο έχει άμεση επίδραση στο αίσθημα της άνεσης (Σχήμα 4) δεδομένου ότι επηρεάζει την απώλεια θερμότητας του σώματος με ακτινοβολία προς τον περιβάλλοντα χώρο. Αν η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας μειωθεί κατά 1°C σε σχέση με τη θερμοκρασία αέρα του χώρου, άμεσα ένα καθιστό άτομο αισθάνεται ως να έχει μειωθεί η θερμοκρασία αέρα κατά 1°C χωρίς να έχει συμβεί κάτι τέτοιο.



Σχήμα 4. Συσχέτιση της θερμοκρασίας αέρα και της μέσης θερμοκρασίας περιβαλλουσών επιφανειών με το επίπεδο θερμικής άνεσης

Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εργασία ενός ατόμου δίπλα σε ένα παράθυρο που κατά κανόνα είναι επιφάνεια πάντα δροσερότερη του χώρου. Ακόμη και σε θερμές συνθήκες εσωτερικού χώρου, θα αισθάνεται τη πλευρά του σώματός του που βρίσκεται δίπλα στο παράθυρο να κρυώνει, παρόλο που η θερμοκρασία χώρου είναι σταθερή γύρω από το σώμα του.

Γενικά, σαν ιδιαίτερα άνετος θεωρείται ένας χώρος όπου η μέση θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών δεν αποκλίνει από τη θερμοκρασία του αέρα περισσότερο από 3°C. Ειδικά για τις κατοικίες, η θερμοκρασία δαπέδου μελετάται ξεχωριστά (Σχήμα 5)

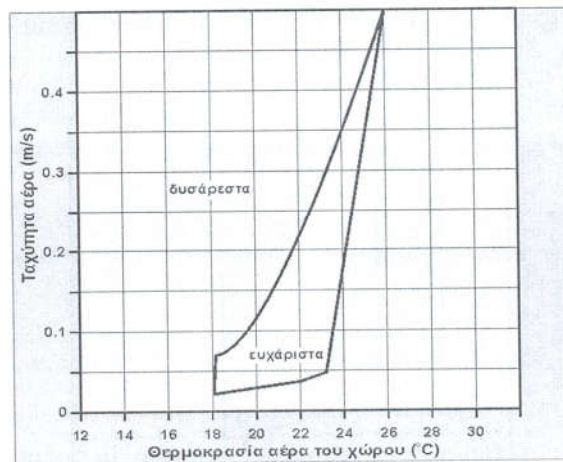


Σχήμα 5. Συσχέτιση της θερμοκρασίας αέρα και της θερμοκρασίας δαπέδου με το επίπεδο θερμικής άνεσης

Η κίνηση του αέρα

Η ταχύτητα του αέρα που έρχεται σε επαφή με το ανθρώπινο σώμα επηρεάζει τόσο την εξάτμιση από την επιδερμίδα, όσο και την απώλεια θερμότητας από το σώμα με μεταφορά. Δεδομένου η επιδερμίδα είναι γενικότερα θερμότερη του αέρα η εξάτμιση είναι γενικά συνεχής. Στους κλειστούς χώρους ο άνθρωπος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στην κίνηση του αέρα, αντίθετα με ότι συμβαίνει στην ύπαιθρο. Ρεύματα αέρα με ταχύτητες μεγαλύτερες του 0,1m/s γίνονται γενικά αισθητά από τον άνθρωπο, ειδικότερα αν είναι ψυχρά, το χειμώνα, μια που αυξάνουν την εξάτμιση στο δέρμα (Σχήμα 6). Σε πολύωρη παραμονή σε τέτοια κατάσταση, συχνά προκαλείται «ψύξη» της εκτεθειμένης περιοχής της επιδερμίδας, λόγω της τοπικά αυξημένης αποβολής θερμότητας.

Από την άλλη, η επίδραση του αέρα στην εξάτμιση υγρασίας από την ανθρώπινη επιδερμίδα, έχει ευεργετικές εφαρμογές κατά τη θερμή περίοδο του έτους υπό ορισμένες προϋποθέσεις: Όταν το ρεύμα αέρα έχει κατακόρυφη, σταθερή ροή (από πάνω προς τα κάτω) και αυξημένη επιφάνεια, τότε μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία που αισθάνεται ο άνθρωπος κατά 2°C. Σε αυτό βασίζονται και οι ανεμιστήρες οροφής που βελτιώνουν σημαντικά τις συνθήκες άνεσης, χωρίς πρακτικά να μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του αέρα.



Σχήμα 6. Συσχέτιση της θερμοκρασίας αέρα και της ταχύτητας αέρα στο χώρο με το επίπεδο θερμικής άνεσης

Έτσι, σε ένα μεγάλο διάστημα της ημέρας, μπορούν να υποκαταστήσουν ή και να συνδυαστούν με την λειτουργία του μηχανικού κλιματισμού, εξοικονομώντας μεγάλο μέρος από το απαιτητό φορτίο ψύξης, δεδομένου ότι έχουν μηδαμινή κατανάλωση και περιορισμένο κόστος αγοράς και συντήρησης.

Γ. Εκτίμηση της θερμικής άνεσης - Οι δείκτες PMV και PPD

Όπως φάνηκε στα προηγούμενα, λόγω της πολυπλοκότητας και της υποκειμενικότητας της θερμικής άνεσης, δεν είναι εύκολο να γίνει σαφής υπολογισμός του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι με τις οποίες μπορεί κανείς να εκτιμήσει το επίπεδο θερμικής άνεσης. Οι επικρατέστερες μέθοδοι είναι με τη χρήση δεικτών και νομογραφημάτων.

Ο υπολογισμός της θερμικής άνεσης στις μελέτες ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων γίνεται συνήθως με μια από τις δυο αυτές μεθόδους. Ανάλογα με το εάν

η μελέτη αφορά στην κατασκευή ενός νέου κτιρίου ή στην αποτίμηση της θερμικής συμπεριφοράς ενός υφιστάμενου κτιρίου, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Υφιστάμενο κτίριο: Πραγματοποιούνται επί τόπου μετρήσεις (συνήθως στιγμιαίες σε διάφορες χαρακτηριστικές ώρες λειτουργίας του κτιρίου) ώστε να καταγραφούν τα φυσικά μεγέθη που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του επιπέδου της θερμικής άνεσης. Ανάλογα με τη χρήση, την εποχή και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά που θα αναφερθούν παρακάτω, οι μετρήσεις εισέρχονται στους μαθηματικούς τύπους ή τα νομογραφήματα της κάθε μεθόδου και προκύπτουν τα αποτελέσματα.

Νεόδμητο κτίριο: Επειδή δεν υπάρχει αντικείμενο στο οποίο να πραγματοποιηθούν μετρήσεις, αξιοποιούνται τα αποτελέσματα που εξάγει το πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης του κτιρίου στη θέση των μετρήσεων. Για να γίνει αυτό απαιτείται αναλυτική – δυναμική μέθοδος προσομοίωσης, μια και οι στατικές μέθοδοι δεν εξάγουν στα αποτελέσματά τους μικροκλιματικά μεγέθη.

Κατά την αξιολόγηση του μικροκλίματος ενός χώρου, είναι σημαντικό να θυμάται κανείς ότι ο άνθρωπος δεν αισθάνεται τη θερμοκρασία του αέρα του χώρου, αλλά τις ενεργειακές απώλειες από το σώμα του. Αυτές οι παράμετροι εισέρχονται στις εξισώσεις υπολογισμού των δεικτών PMV² και PPD³. Οι δείκτες αυτοί, αποτελούν στατιστικά μεγέθη που έχουν προκύψει από εκτεταμένες έρευνες σε ένα πολύ μεγάλο πλήθος ανθρώπων και αποτελούν δείκτες που οδηγούν στη διαπίστωση κατά πόσο ένα θερμικό περιβάλλον εξασφαλίζει θερμική άνεση. Οι δείκτες αυτοί αποτελούν μέχρι στιγμής την πλέον αποδεκτή μέθοδο υπολογισμού της θερμικής άνεσης σε εσωτερικά περιβάλλοντα, και προτείνονται από το πρότυπο ISO-7730. Γενικά, η εφαρμογή τους σε εξωτερικούς χώρους δεν είναι επιτυχής και έχει αποδειχθεί ότι δεν εκφράζουν το πραγματικό αίσθημα άνεσης.

² PMV index: Predicted Mean Vote (Προβλεπόμενη Μέση Ψήφος)

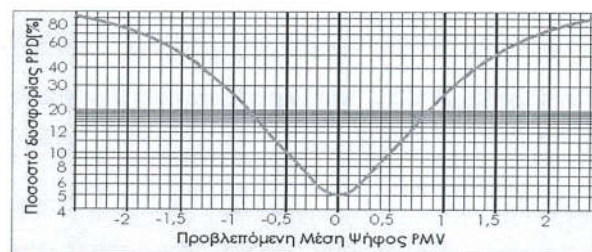
³ PPD index: Predicted Percentage of Dissatisfied (Προβλεπόμενο Ποσοστό Δυσφορίας η Δυσφορούντων)

Πίνακας 3. Κλίμακα και ερμηνεία τιμών της μεθόδου⁴

PMV	Ερμηνεία
+3	Πολύ θερμά (Έντονη θερμική δυσφορία – έντονη εφίδρωση)
+2	Θερμά (Οριακή δυσφορία για τους περισσότερους)
+1	Ελαφρώς θερμά (Μη ενοχλητική αίσθηση ζέστης – χωρίς εφίδρωση)
0	Ουδέτερα (Οι περισσότεροι δεν ασχολούνται με τις συνθήκες)
-1	Δροσερά (Μη ενοχλητική αίσθηση δροσιάς)
-2	Ψυχρά (Οριακά αντιληπτό ψύχος)
-3	Πολύ ψυχρά (Έντονη αίσθηση ψύχους)

Ο δείκτης PMV προβλέπει τη μέση τιμή των ψήφων (σχετικά με το αίσθημα θερμικής άνεσης) που θα έδινε ένα πλήθος ανθρώπων με συγκεκριμένα υποκειμενικά χαρακτηριστικά (επίπεδο ένδυσης, δραστηριότητα) σε ένα δεδομένο μικροκλίμα. Η κλίμακα μέσα στην οποία λαμβάνει τιμές ο δείκτης αποτελείται από επτά σημεία από το -3 (πολύ ψυχρά) έως το +3 (πολύ θερμά). Η τιμή 0 δηλώνει αίσθηση θερμικής ουδετερότητας (θερμική άνεση).

Ακόμη και όταν ο δείκτης PMV λαμβάνει την τιμή 0, επειδή πρόκειται για στατιστική μέθοδο, θα υπάρχει ένα μικρό στατιστικό μέρος από τους χρήστες (5%) οι οποίοι και πάλι δεν θα νιώθουν άνετα. Ο δείκτης PPD μπορεί να υπολογιστεί άμεσα από το δείκτη PMV ή να εκτιμηθεί από το διάγραμμα του Σχήματος 7.



Σχήμα 7. Προβλεπόμενο ποσοστό δυσφορίας σε σχέση με τη προβλεπόμενη μέση ψήφο

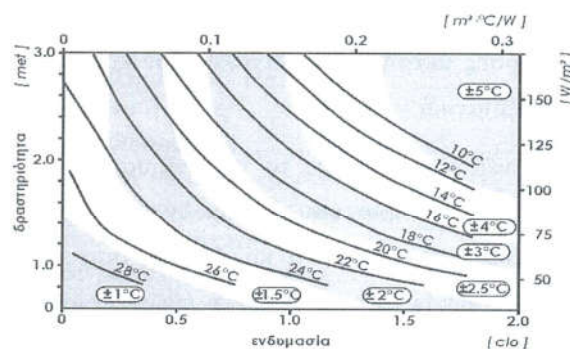
⁴ International Standards Organization, ISO 7730, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort

Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχθεί ότι δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα στις περισσότερες περιπτώσεις εσωτερικών χώρων και γι' αυτό έχει πιστοποιηθεί από τον παγκόσμιο οργανισμό τυποποίησης (ISO) για τέτοια χρήση. Έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί σχετικά δύσκολους υπολογισμούς που δεν μπορούν να γίνουν χειρονακτικά αλλά παρουσιάζει με σαφή τρόπο την εκτίμηση της θερμικής άνεσης.

Προσδιορισμός απαιτήσεων ανάλογα με το κτίριο και τη χρήση

Η χρήση ενός κτιρίου προδιαγράφει και τις απαιτούμενες εσωκλιματικές συνθήκες. Υπάρχει για παράδειγμα, ένα ελάχιστο όριο στην ανανέωση του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, το οποίο οφείλει να τηρείται προκειμένου να εξασφαλίζεται όχι μόνο η άνεση, αλλά κυρίως οι απαιτήσεις υγιεινής προς αποφυγή προβλημάτων υγείας. Αυτό το όριο οφείλει να εξαρτάται αρχικά από το πλήθος των χρηστών. Όπως και στα περισσότερα ζητήματα μηχανικού, το ζητούμενο δεν είναι η ευνοϊκότερη κατάσταση, αλλά η συχνότερα εμφανιζόμενη δυσμενής.

Ένας σύντομος τρόπος για την κατανόηση του μικροκλίματος ενός εσωτερικού χώρου και την εκτίμηση της θερμικής άνεσης που παρέχει, είναι με τη χρήση του νομογραφήματος στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8. Βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας⁵ (για PMV=0) συναρτήσει της δραστηριότητας και του επιπέδου ένδυσης.

⁵ Οι σκιασμένες περιοχές αντιπροσωπεύουν την περιοχή άνεσης ($\pm\Delta T$) γύρω από τη βέλτιστη θερμοκρασία, εντός της οποίας ισχύει: $0,5 \leq PMV \leq 0,5$ (αποδεκτές συνθήκες). Η σχετική ταχύτητα του αέρα από την κίνηση του σώματος θεωρείται ίση με μηδέν για $m < 1$ met και $0,3(m-1)$ για $m > 1$. Η σχετική υγρασία λαμβάνεται ίση προς 50% για το διάγραμμα του σχήματος.

Οι πληροφορίες που δίνονται στο διάγραμμα έχουν τη μορφή μιας μεταβλητής ζώνης θερμικής άνεσης. Οι γραμμές αναπαριστούν τη βέλτιστη κατάσταση θερμικής άνεσης ($PMV=0$) και οι σκιασμένες περιοχές, καταστάσεις γενικά αποδεκτές όπου αναμένεται τουλάχιστον το 80% των ενοίκων θα νιώθει θερμικά άνετα, ανάλογα με το επίπεδο ενδυμασίας και την ασκούμενη δραστηριότητα.

2. Οπτική άνεση

Η οπτική άνεση σε ένα χώρο απαιτεί την εξασφάλιση τεσσάρων επιμέρους προϋποθέσεων:

- Την επίτευξη των απαραίτητων φωτιστικών επιπέδων για το είδος των εργασιών που επιτελούνται στο χώρο.
- Την αποφυγή οπτικής θάμβωσης
- Την εξασφάλιση οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον
- Την οπτική επαφή με εξωτερικά στοιχεία ευχάριστα στο άτομο

Εκατοντάδες χιλιάδες κτίρια έχουν ήδη κατασκευασθεί με βάση τις αρχές αυτές σε όλο τον κόσμο και παρουσιάζουν ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στην Ελλάδα, τα υπάρχοντα βιοκλιματικά κτίρια λειτουργούν με εξαιρετική επιτυχία και με βάση τις υπάρχουσες μετρήσεις καταναλώνουν κατά πολύ λιγότερη ενέργεια από ότι τα αντίστοιχα συμβατικά κτίρια.

Ήδη σημαντικά νέα κτίρια όπως το νέο Μουσείο της Ακρόπολης, το νέο Μουσείο των Δελφών, το νέο κτίριο των κεντρικών γραφείων της ΔΕΗ κλπ. έχουν σχεδιασθεί και κατασκευάζονται ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών τους με ηλιακή ενέργεια και άλλες ατμοσφαιρικές πηγές.

Πορεία και ανάλυση της εργασίας

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

1. Πορεία και προβλήματα που προέκυψαν	52
<i>A. Ανεπαρκής βιβλιογραφία</i>	52
<i>B. Ελλιπής γνώση σε πανεπιστημιακό επίπεδο</i>	53
<i>C. Πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία των υπογείων υδάτων</i>	54
2. Αντιμετώπιση των προβλημάτων / Παραδοχές	55
<i>A. Ύπαρξη γεώτρησης και αντλίας</i>	55
<i>B. Νομιμότητα της γεώτρησης</i>	56
<i>C. Θερμοκρασία υπογείων υδάτων</i>	56
<i>D. Ύπαρξη αντλίας για την κυκλοφορία του νερού στην οροφή</i>	56
<i>E. Καθαρότητα – καταλληλότητα του νερού</i>	57
<i>F. Απόθεση του νερού μετά τη χρήση του</i>	57
3. Συγγραφή υπολογιστικού κώδικα, προβλήματα και διεκπεραίωσή τους	58
<i>A. Περιορισμός δεδομένων στο SUNCODE – PC</i>	58
<i>B. Θερμοστάτης κλιματισμού</i>	59
<i>C. Τρόπος θερμικής σύζευξης του συστήματος GWCooling με το SUNCODE – PC</i>	60
<i>D. Διαδικασία υπολογισμού GWCooling</i>	62
4. Σύνοψη κεφαλαίου – συμπεράσματα	63

1. Πορεία και προβλήματα που προέκυψαν

Η παρούσα εργασία πριν, αλλά και κατά τη διάρκεια της μελέτης της, παρουσίασε κάποια προβλήματα που είχαν να κάνουν κυρίως με έλλειψη δεδομένων και απουσία επαρκούς βιβλιογραφικής τεκμηρίωσης πάνω στο συγκεκριμένο θέμα, αφού άλλωστε πρόκειται και για αρκετά πρωτότυπο θέμα. Τα κυριότερα από τα προβλήματα αυτά ξεπεράστηκαν με τη χρήση παραμέτρων για την εισαγωγή κάποιων δεδομένων, άλλα όμως παρέμειναν άλυτα και συνεπώς δε στάθηκε δυνατή η ενασχόληση μαζί τους όπως αρχικά υπήρχε η διάθεση.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαία μια ανάλυση των βημάτων που ακολουθήθηκαν, σε γενικές γραμμές, έτσι ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση από τους αναγνώστες του παρόντος συγγράμματος των προβλημάτων που θα αναφερθούν στη συνέχεια. Ακολουθούν λοιπόν τα βήματα αυτά και αναλύεται η δράση που κρίθηκε πιο σκόπιμη.

Α. Ανεπαρκής βιβλιογραφία

Από τον Οκτώβριο του 2003, μήνα που επιλέχθηκε το παρόν θέμα της διπλωματικής εργασίας, ξεκίνησε μια προσπάθεια για την εύρεση πληροφοριών που ως σκοπό τους θα είχαν να στηρίζουν τη βασική ιδέα της εργασίας. Η αρχική σκέψη για την τιτλοφόρηση της διπλωματικής ήταν «Δροσισμός οροφής με χρήση γεωθερμίας και αντλιών θερμότητας» και προς αυτήν την κατεύθυνση κινήθηκε και η αρχική έρευνα. Επειδή σαν θέμα ήταν πολύ γενικό, υπήρξε η σκέψη για αλλαγή του. Σε συνδυασμό με μια προσωπική ιδέα του συγγραφέα, και μετά την αποδοχή της αλλαγής του θέματος από τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Α. Τομπουλίδη, η εργασία πλέον τιτλοφορήθηκε «Δροσισμός κτιρίου με απευθείας χρήση υπογείων υδάτων σε οροφή δροσισμού», τίτλος που διατηρήθηκε μέχρι και την παρούσα στιγμή.

Συνεπώς, η αρχική έρευνα των πρώτων δύο μηνών δεν κατάφερε να αποτελέσει βοήθημα στην προσπάθεια της συγγραφής παρά σε μικρά, αποσπασματικά σημεία. Από τη στιγμή της απόφασης του θέματος, έπρεπε να γίνει μια προκαταρκτική έρευνα πάνω στο νέο θέμα, έρευνα που δυστυχώς κατέστη και αυτή άκαρπη. Αιτία για αυτό ήταν η πρωτοτυπία του θέματος, και η συνεπαγόμενη έλλειψη προηγούμενης ενασχόλησης κάποιου σε επιστημονικό επίπεδο στο σύνολο του συγκεκριμένου τομέα, όπως αποδείχθηκε κατά τη βιβλιογραφική έρευνα. Έπρεπε λοιπόν να υπάρξει εξ' αρχής ένας άξονας πάνω στον οποίο θα κινηθεί η μελέτη.

Ο άξονας αυτός αποφασίστηκε να διαιρεθεί σε επιμέρους θεματικές ενότητες, μία εκ των οποίων θα αφορούσε τη μελέτη των υπογείων υδάτων, μία τη μελέτη του συστήματος της γεώτρησης και μια άλλη το σύστημα του δροσισμού οροφής.

β. Ελλιπής γνώση σε πανεπιστημιακό επίπεδο

Ξεκίνησε λοιπόν μια ακόμη εκτενής έρευνα στο διαδίκτυο, στις βιβλιοθήκες του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης καθώς και στους ίδιους τους καθηγητές του τμήματός μας αλλά και του Α.Π.Θ. Συγκεκριμένα, έγιναν αρκετές επισκέψεις στο χώρο του Α.Π.Θ. στα τμήματα Γεωλογίας, Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανολόγων Μηχανικών με σκοπό την εξεύρεση πληροφοριών συναφών με το θέμα.

Στο διαδίκτυο, σε επίπεδο ελληνικό αλλά και διεθνές, η μόνη αξιοποίηση υπογείων υδάτων που βρέθηκε είναι μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που λειτουργεί με την ίδια αρχή που λειτουργεί και το κοινό κλιματιστικό στα σπίτια μας, με τη διαφορά όμως ότι, ως δεξαμενή υποδοχής της απορριπτόμενης ενέργειας, αντί για τον ατμοσφαιρικό αέρα χρησιμοποιείται νερό χαμηλής και σταθερής θερμοκρασίας σε όλη τη διάρκεια του έτους. Βέβαια, με γεωθερμικές αντλίες δουλεύουν και τα συστήματα κλειστού βρόχου νερού ή αέρα με χρήση του εδάφους. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή γεωθερμικών αντλιών ήταν εκτός θέματος αφού τα υπόγεια ύδατα στο συγκεκριμένο θέμα θα κυκλοφορούν απ' ευθείας στην οροφή χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου εναλλάκτη που απαιτεί κάποιο ποσό ενέργειας, άρα είναι ένας περισσότερο υβριδικός τρόπος.

Επίσης, όσον αφορά το σύστημα των αγωγών στην οροφή, η αγγλική ορολογία ήταν Radiation Ceilings και το θέμα αυτό είναι σχετιζόμενο κυρίως με συστήματα που αξιοποιούν τη θερμική ακτινοβολία. Παρόλα αυτά, κάποιες πληροφορίες σχετικές με το εξεταζόμενο αντικείμενο, βρέθηκαν, μεταφράστηκαν, αξιολογήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν σε επόμενο κεφάλαιο.

Στο Α.Π.Θ. οι βιβλιοθήκες των τμημάτων και των καθηγητών αποδείχτηκαν φτωχές στο συγκεκριμένο θέμα και δυστυχώς δεν αντλήθηκαν πληροφορίες από αυτόν το χώρο. Όσον αφορά τους καθηγητές, στο τμήμα των Μηχανολόγων Μηχανικών, έπειτα από επαφή με τον κ. Άγι Παπαδόπουλο, δεν προέκυψε κάτι ενθαρρυντικό για τη συνέχιση λόγω ανεπαρκούς βιβλιογραφίας. Το ίδιο συνέβη και στο τμήμα των Πολιτικών Μηχανικών και τις κυρίες Νιόβη Χρυσομαλλίδου και

Αξαρλή Κλεονίκη αντίστοιχα, οι οποίες ασχολούνται με το αντικείμενο του Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτιρίων.

C. Πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία των υπογείων υδάτων

Η έρευνα στράφηκε έπειτα στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και συγκεκριμένα στον καθηγητή κ. Μελαδιώτη λόγω της ενασχόλησής του στον τομέα των γεωτρήσεων. Ο εν λόγω καθηγητής πληροφόρησε τον γράφοντα σχετικά με τις θερμοκρασίες των υπογείων υδάτων, όμως δεν μπόρεσε να παρέχει κάποια έγγραφα που να πιστοποιούν τις πληροφορίες αυτές. Τόνισε ότι πρόκειται περί εμπειρικών τιμών και ότι γενικότερα για τον χώρο της Θεσσαλονίκης, στον οποίο αρχικά είχε επικεντρωθεί η έρευνα, δεν υπήρχαν επαρκείς και τεκμηριωμένες πληροφορίες. Σύμφωνα με τον κ. Μελαδιώτη, οι θερμοκρασίες των υπογείων υδάτων κάτω από τα 150 m παραμένουν σχεδόν σταθερές και είναι της τάξης των 16 – 19 °C.

Επίσης, έπειτα από σύσταση τρίτων, έγινε μια συνάντηση και με τον καθηγητή κ. Κατσιφαράκη, Πολιτικό Μηχανικό στον τομέα Υδραυλικής του Τμήματος, που εξειδικεύεται σε θέματα γεωτρήσεων και υπόγειων υδάτων. Ο κύριος Κατσιφαράκης επίσης δεν μπόρεσε να παρέχει κάποιες δημοσιευμένες και τεκμηριωμένες πληροφορίες και αρκέστηκε και αυτός σε εμπειρικές τιμές. Η θερμοκρασία των υπογείων υδάτων σε βάθος μεγαλύτερο των 50 m, κατά τα λεγόμενά του, είναι ίση περίπου με 15 °C.

Φυσικά, αυτές οι τιμές επειδή δεν περιέχουν την απαιτούμενη σιγουριά, δεν κατέστη δυνατόν να χρησιμοποιηθούν παρά μόνο με παραμετρικό τρόπο. Επίσης, δεν έγινε καν προσπάθεια για υπολογισμό των θερμικών απωλειών του νερού προς το περιβάλλον έδαφος κατά την άντλησή του, ούτε και της θερμοκρασιακής του αύξησης κατά τη διέλευσή του μέσα από την αντλία. Όλα αυτά τα φαινόμενα δε θα απασχολήσουν την παρούσα μελέτη, καθώς για τις ανάγκες της εργασίας και λόγω της έλλειψης πληροφόρησης κάτι τέτοιο θα ήταν αδύνατο χωρίς τη χρήση πειραματικών μετρήσεων, εγχείρημα όμως που είναι εκτός ορίων της έννοιας της διπλωματικής εργασίας. Εξάλλου, όπως παρατήρησαν οι περισσότεροι εκ των καθηγητών που προαναφέρθηκαν, το θέμα παραπέμπει περισσότερο σε διδακτορική διατριβή παρά σε διπλωματική εργασία.

Τέλος, υπάρχει μόνο μια αναφορά σε πανεπιστημιακές σημειώσεις¹ του τμήματος, που αναφέρει πως «σε βάθη 0 – 150 m οι θερμοκρασίες στη χώρα μας είναι 15 – 20 °C» αναφερόμενη σε γεωθερμική εφαρμογή με αντλία θερμότητας. Γίνεται επίσης αναφορά και σε ψύξη του χώρου με τη βοήθεια των υπογείων υδάτων, αλλά παραπέμπει και πάλι σε εφαρμογή γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

2. Αντιμετώπιση των προβλημάτων / Παραδοχές

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, έπρεπε να γίνουν κάποιες διορθωτικές κινήσεις έτσι ώστε να διαφανεί κάποια λύση για τα προβλήματα που αναφέρθηκαν. Η ελλιπής βιβλιογραφία, καθώς και η έλλειψη επαρκών γνώσεων του θέματος από το σύνολο των ερωτηθέντων, έθεσαν ως ανάγκη την αποφυγή εμπλοκής στο θέμα του σκέλους της εκμετάλλευσης των υπογείων υδάτων και της ανάλυσης του συστήματος της γεώτρησης.

Α. Ύπαρξη γεώτρησης και αντλίας

Σαν αρχή λοιπόν, θα γίνει η υπόθεση πως η γεώτρηση υπάρχει και πως υπάρχει και αντλία (του συστήματος της γεώτρησης) που έχει αντλητική ικανότητα ικανή να αντλήσει από τον υδροφόρο ορίζοντα ως την επιφάνεια του εδάφους νερό με παροχή τουλάχιστον 0,6 kg/sec. Άλλωστε, σε αγροτικές περιοχές οι γεωτρήσεις αυτές είναι συχνές και χρησιμοποιούνται κατά κόρον. Έτσι, κατά κανόνα, η ενδεχόμενη εγκατάσταση ενός συστήματος ανάλογου με το εξεταζόμενο, βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε αγροτικές περιοχές, αλλά και σε κτίρια απομακρυσμένα από το αστικό δίκτυο, όπως για παράδειγμα σε κτίρια εκατέρωθεν του άξονα των εθνικών οδών, τα οποία πολύ συχνά εξυπηρετούν τις ανάγκες τους σε νερό από γεωτρήσεις.

Η εκμετάλλευση θα αρχίσει από την έξοδο των υπογείων υδάτων από το έδαφος και θα τελειώσει με την επαναπόθεσή τους στο έδαφος ή σε άλλους πιθανούς αποδέκτες. Το τελευταίο μπορεί να γίνει είτε με την εισαγωγή τους, μετά το πέρας της θερμικής απορρόφησης, σε πηγάδι γειτονικό της γεώτρησης (φόρτιση του υπόγειου ορίζοντα), είτε με την αποθήκευση του όγκου του νερού σε αποθηκευτικό χώρο για την ετεροχρονισμένη χρησιμοποίησή του για αρδευτικούς σκοπούς. Το νερό, έπειτα από τη χρήση του για δροσισμό, θα διατηρεί τη χημική του σύσταση και θα βρίσκεται

¹ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Τσιλιγκιρίδης Γιώργος, σελ. ΓΕΩ28 – ΓΕΩ29

γενικότερα στην ίδια κατάσταση που βρισκόταν και πριν την άντλησή του με μόνη αλλαγή στη θερμοκρασία του, συνεπώς δε διαταράσσεται ο κύκλος του νερού στο περιβάλλον και προστατεύονται (ή τουλάχιστον δεν καταστρέφονται) οι υπόγειοι υδατικοί πόροι.

B. Νομιμότητα της γεώτρησης

Επειδή υπάρχει η περίπτωση της ενδεχόμενης απαίτησης ειδικής άδειας για τη χρήση υπογείων υδάτων για δροσισμό κτιρίου, θα γίνει η υπόθεση ότι δεν υπάρχει κάποιο νομικό κώλυμα και ότι η γεώτρηση που προϋπάρχει θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό χωρίς την απαίτηση κάποιας περαιτέρω διαδικασίας για τη χορήγηση άδειας από την πολεοδομία ή κάποιο άλλο τοπικό ή κρατικό οργανισμό.

C. Θερμοκρασία υπογείων υδάτων

Λόγω της γενικότερης ασάφειας που υπήρξε σχετικά με τις θερμοκρασίες των υπογείων υδάτων, καθώς και με το βάθος που αυτές συναντώνται, έγινε η παραδοχή ότι το βάθος θα είναι επαρκές για την ύπαρξη σταθερής θερμοκρασίας νερού και ότι η θερμοκρασία του νερού που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους θα είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (ως καλοκαίρι ορίζονται οι πέντε μήνες από Μάιο έως και Σεπτέμβριο λόγω της ύπαρξης ανάγκης κλιματισμού τους μήνες αυτούς). Άλλωστε, βάθος πάνω από 50 μέτρα ουσιαστικά αποτρέπει οποιαδήποτε άμεση επίδραση του περιβάλλοντος στα υπόγεια ύδατα και επιπροσθέτως ενδέχεται με τη βοήθεια της θερμικής αδράνειας του εδάφους να επηρεάζει ετεροχρονισμένα και ελαφρώς τη θερμοκρασία τους. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί η χαμηλότερη θερμοκρασία να παρουσιάζεται το καλοκαίρι (αν υπάρχει μεταβολή της θερμοκρασίας σε ετήσιο επίπεδο).

D. Ύπαρξη αντλίας για την κυκλοφορία του νερού στην οροφή

Το νερό, έπειτα από την άντλησή του θα θεωρηθεί πως παραλαμβάνεται από μια αντλία η οποία θα έχει ικανότητα άντλησης ίση με το μανομετρικό ύψος που προκύπτει από την πτώση πίεσης στους αγωγούς της οροφής δροσισμού. Συνεπώς πλέον το πρόβλημα μετατίθεται εκτός του εδάφους και οι μόνες παράμετροι που αφορούν τη γεώτρηση και επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος θα είναι η παροχή του νερού και η θερμοκρασία του. Για τη λειτουργία του εξεταζόμενου συστήματος δροσισμού, η μοναδική ενεργειακή κατανάλωση που προκύπτει αφορά

στη λειτουργία της αντλίας. Έτσι, η αντλία αυτή θα μελετηθεί ως προς την κατανάλωσή της σε σχέση με την ισχύ ενός συμβατικού κλιματιστικού για τη σύγκριση του υπό μελέτη συστήματος με μία κοινή κλιματιστική μονάδα.

Η λειτουργία της αντλίας θα ελέγχεται από έναν εσωτερικό θερμοστάτη που θα συγκρίνει την επιθυμητή θερμοκρασία με την εσωτερική και ανάλογα θα δίνει εντολή για τη λειτουργία ή αδρανοποίηση του συστήματος δροσισμού. Θα πρόκειται λοιπόν για μια πλήρως αυτοματοποιημένη διάταξη δροσισμού.

Ε. Καθαρότητα – καταλληλότητα του νερού

Το νερό θεωρείται ότι αντλείται και βρίσκεται σε κατάσταση όπου δεν περιέχει άλατα ή άλλες βλαβερές προσμίξεις που μπορούν να καταστρέψουν ή να τραυματίσουν τους σωλήνες του συστήματος GWCooling και την αντλία κυκλοφορίας. Αυτό μπορεί να επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο χημισμό του νερού, ή με την τοποθέτηση φίλτρων² πριν τον κυκλοφορητή του νερού. Σε κάθε περίπτωση, η πτώση πίεσης που θα υπάρχει θα θεωρείται αμελητέα σε σχέση με την πτώση πίεσης εντός των σωλήνων και δε θα υπολογίζεται ξεχωριστά.

Αυτή είναι μια απαραίτητη θεώρηση για τη συνέχιση αυτής της μελέτης. Άλλωστε, αν κάτι τέτοιο καταστεί αδύνατο για οποιονδήποτε λόγο, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας εναλλάκτης αντιροής και το νερό στην οροφή να κυκλοφορεί σε κλειστό βρόχο. Θα πρέπει, σε αυτήν την περίπτωση, να αναγνωριστεί όμως μια χαμηλότερη θερμοκρασία εισαγωγής από αυτήν που έχει το νερό της γεώτρησης πριν την είσοδό του στον εναλλάκτη.

Ε. Απόθεση του νερού μετά τη χρήση του

Το νερό, μετά τη χρήση του για το δροσισμό του χώρου θα εξέλθει σε κάποια θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία εισαγωγής. Το μέγεθος της θερμοκρασιακής αύξησης, συναρτάται άμεσα και αποκλειστικά από το θερμικό φορτίο το οποίο απάγει από το χώρο κατά τη λειτουργία του. Κατά τα άλλα, το νερό στην έξοδο του συστήματος παραμένει αναλλοίωτο, συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί έπειτα για αρδευτικούς σκοπούς. Άλλωστε, η ήδη ύπαρξη της

² Φίλτρα Profi-Plus με αναστροφή ροής για κατακράτηση σωματιδίων και φίλτρα BioQuell για αποσκλήρυνση. Τις πληροφορίες για τα φίλτρα έδωσε το κατάστημα «Φίλτρα Νερού», Κ. Νικολαΐδης, Μοναστηρίου 80

γεώτρησης δείχνει και τη χρήση της πιθανότατα ως μέσο άντλησης νερού για το πότισμα κήπων ή αγρών. Συνεπώς το σύστημα δροσισμού θα «παρεμβληθεί» μεταξύ της άντλησης και της άρδευσης. Με αυτήν τη λογική το σύστημα δεν αντλεί νερό μόνο για δική του χρήση και δε διαταράσσει τον κύκλο του νερού.

Άλλωστε, αν υποθεθεί ότι το νερό αντλείται μόνο για το σύστημα και δεν αρδεύει κάποια περιοχή, τότε θα πρέπει να υπάρξει η απόρριψή του σε κάποιο συγγενές με τη γεώτρηση πηγάδι για να μην υπάρξει αποσάθρωση του εδάφους ή κάποιο άλλο πρόβλημα. Οπότε θα υπάρξει ένας κλειστός κύκλος γεώτρησης – συστήματος – πηγαδιού – εδάφους και το νερό θα κυκλοφορεί μέσα σε αυτό το βρόχο.

3. Συγγραφή υπολογιστικού κώδικα, προβλήματα και διεκπεραίωσή τους

Από τη στιγμή που τα βασικά προβλήματα είχαν να κάνουν με θέματα εκτός προσομοίωσης, και με την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια του κυρίου Θεοδοσίου Θεοδώρου, ξεκίνησε η προσπάθεια για την ενεργειακή προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος GWCooling και συνολικά του κτιρίου μέσω H/Y. Το πρόβλημα σε αυτό το επίπεδο ήταν η μικρή εμπειρία του μελετητή σε θέματα προσομοίωσης και η ανάγκη να γίνει η κατανόηση ενός φαινομένου που δεν είχε ξανααντιμετωπιστεί.

Πράγματι, η συγκεκριμένη θεματική ενότητα, επειδή ήταν άγνωστη ως προς τον τρόπο που λειτουργεί, περιέχει πλήθος άγνωστων διαδικασιών που εξ' αρχής δεν μπορούσαν να έχουν ληφθεί υπόψη. Τέτοιες είναι η μετάδοση θερμότητας μεταξύ χώρου και συστήματος δροσισμού και ο τρόπος που γίνεται, καθώς και το φαινόμενο της παραμένουσας μάζας νερού στις σωληνώσεις. Αυτά τα προβλήματα προέκυψαν στην πορεία και απαίτησαν αναλυτικότερη προσέγγιση κατά περίπτωση, ενώ, ακόμα και λίγες ημέρες πριν την τελική ευθεία της μελέτης και της συγγραφής της παρούσας εργασίας δε σταμάτησαν να αποτελούν τροχοπέδη στην προσπάθεια για την ολοκλήρωσή της.

Α. Περιορισμός δεδομένων στο SUNCODE – PC

Εξ' αρχής, λοιπόν, θα έπρεπε να βρεθεί μια φόρμουλα για την αποτελεσματική προσομοίωση του συνολικού ενεργειακού συστήματος (σύστημα ψύξης – κτίριο). Αυτή επιλέχτηκε να είναι η ένταξη ενός προσομοιωτικού εργαλείου, του SUNCODE – PC σε έναν κώδικα που θα γραφόταν για αυτήν ακριβώς την περίπτωση. Το SUNCODE έχει τη δυνατότητα ενεργειακής προσομοίωσης ενός

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

κτιρίου πλήρως προσδιορισμένου, και μπορεί να προγραμματίσει κάποιες παραμέτρους ώστε να λειτουργούν ανάλογα με την ώρα, την ημέρα ή τη χρονική περίοδο στην οποία βρίσκονται (όπως π.χ. τον κλιματισμό που για γραφεία λειτουργεί από Δευτέρα έως Παρασκευή, μόνο το καλοκαίρι και για ώρες γραφείου).

Δυστυχώς όμως, σε αυτήν την περίπτωση, ο διαχωρισμός των τιμών έπρεπε να γίνει για μία παράμετρο σε ωριαίο επίπεδο. Αυτό δημιουργούσε $24 \cdot 30 \cdot 5 = 3600$ ώρες (ώρες x ημέρες x μήνες) για τις οποίες έπρεπε να οριστούν και οι ανάλογες τιμές. Δίχως μια προσπάθεια ελεγχόμενης και αυτοματοποιημένης εισόδου αυτών των τιμών στο πρόγραμμα, θα έπρεπε όλες οι τιμές να πληκτρολογούνται σε κάθε εκτέλεση προσομοίωσης. Ο ορισμός των τιμών δεν αποτέλεσε πρόβλημα, αλλά η χωρητικότητα του SUNCODE δεν έδινε περιθώρια για μια τόσο εκτεταμένη θεώρηση του θέματος.

Αυτό που επιλέχθηκε ήταν να χωριστεί η προσομοίωση σε 15 μέρη, πέντε μήνες επί τρία δεκαήμερα έκαστος, και το πρόγραμμα να τρέχει διαδοχικά όλες αυτές τις «υποπεριόδους», που στο τέλος ξανασυνθέτουν την τελική εικόνα. Για αυτό το λόγο και μπορεί κανείς να διακρίνει στο παράθυρο λειτουργίας του EDITS.exe και εν συνεχεία του LOADS.exe την ύπαρξη 15 τμημάτων προσομοίωσης.

Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που παρατηρείται μια καθυστέρηση στο τρέξιμο του προγράμματος, καθυστέρηση όμως που δεν αποτελεί απαγορευτική παράμετρο για την εφαρμογή του στην προσπάθεια εντοπισμού του τρόπου λειτουργίας του συστήματος δροσισμού.

β. Θερμοστάτης κλιματισμού

Η προσπάθεια συγγραφής συνεχίστηκε, καθώς πλέον ολοένα και τα προβλήματα που παρουσιάζονταν δημιουργούσαν μεγαλύτερες δυσκολίες στο σύνολο του κώδικα. Ένα άλλο τέτοιο πρόβλημα ήταν και η ανάγκη τοποθέτησης ενός θερμοστάτη ο οποίος να ρυθμίζει τη λειτουργία ή όχι του συστήματος δροσισμού. Αυτό όμως ήταν δύσκολο από την άποψη ότι ο θερμοστάτης θα λειτουργούσε με βάση τη θερμοκρασία του χώρου του προηγούμενου βήματος σύγκλισης. Αυτό είχε ως συνέπεια στο χρονικό βήμα (Δt) να απαιτείται π.χ. δροσισμός και στο αμέσως επόμενο βήμα η θερμοκρασία να εκτοξεύεται σε μικρές τιμές. Άρα, εν συνεχεία ο θερμοστάτης θα έπρεπε να ξανακλείσει, ακριβώς επειδή θεωρούνταν ότι πλέον ο δροσισμός δεν ήταν απαραίτητος, και ούτω καθεξής με αποτέλεσμα ο κώδικας να μη

συγκλίνει σχεδόν ποτέ. Άλλωστε, ο κώδικας δημιουργήθηκε για τη διαδοχική σύγκλιση των τιμών της θερμοκρασίας του χώρου όπως θα εξηγηθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Η λύση δόθηκε με μια απλή παραδοχή. Θεωρήθηκε ότι το κτίριο λειτουργεί αυτόνομα για κάθε ώρα, και συνεπώς από ένα προκαταρκτικό τρέξιμο του κτιρίου με την ύπαρξη, αλλά όχι και λειτουργία, του συστήματος δροσισμού βρίσκονται οι ώρες όπου ο χώρος του κτιρίου υπερβαίνει τη θερμοκρασία του θερμοστάτη. Αυτές οι ώρες ονομάζονται και καταγράφονται έτσι ώστε να ανιχνεύονται σε κάθε επόμενο βήμα σύγκλισης. Το σύστημα θα λειτουργεί εφ' εξής μόνο αυτές τις ώρες και δε θα ξαναγίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας σε επίπεδο ανοίγματος ή κλεισίματος του θερμοστάτη. Αυτή η παραδοχή δεν εισάγει κάποιο πρόβλημα, δεδομένου ότι με την πρόσθετη λειτουργία του συστήματος αυτές τις ώρες δεν υπάρχει ενδεχόμενο να αυξηθούν οι ώρες για τις οποίες απαιτείται η λειτουργία του συστήματος.

C. Τρόπος θερμικής σύζευξης του συστήματος GWCooling με το SUNCODE – PC

Τέλος, υπήρξε και το πρόβλημα της χωροθέτησης του συστήματος εντός του κτιρίου, πρόβλημα που λύθηκε με την υπόθεση ότι η κάτοψη του εμβαδού των σωληνώσεων αποτελεί τη χρήσιμη επιφάνεια εναλλαγής και ότι ο όγκος του νερού μεταφράζεται σε έναν ιδεατό τοίχο με όγκο ίσο με την επιφάνεια εναλλαγής και ύψος το πηλίκο του όγκου προς την επιφάνεια εναλλαγής. Έτσι, ο τοίχος αυτός τοποθετήθηκε σε έναν ιδεατό χώρο ακριβώς πάνω από τον χώρο και για κάτοψη ίση με την επιφάνεια εναλλαγής. Ο υπόλοιπος χώρος που δεν καλύπτεται από αυτό το σύστημα «βλέπει» απευθείας στην οροφή, αναγνωρίζοντας με αυτόν τον τρόπο την επίδραση της επιφάνειας εναλλαγής στην τελική ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου. Η θεώρηση του ιδεατού τοίχου στο πλαίσιο της προσομοίωσης, επιτυγχάνει παράλληλα να εντάξει τη θερμική μάζα του νερού που βρίσκεται εντός των σωληνώσεων, στο συζευγμένο θερμικό μοντέλο που προσομοιώνεται.

Οι ενεργειακές ανταλλαγές της ιδεατής θερμικής ζώνης, με τον τρόπο που εισήχθησαν στο μοντέλο της προσομοίωσης, είναι μόνο αυτές που εμφανίζει το εξεταζόμενο σύστημα. (Θερμική ροή από και προς τον κυρίως χώρο του κτιρίου, από και προς την οροφή και ακτινοβολία/ μεταφορά προς τον κυρίως χώρο)

Η ιδεατή θερμική ζώνη όπου τοποθετείται το σύστημα δροσισμού επιλέγεται να μην περιέχει τίποτα άλλο πλην του ιδεατού τοίχου (μάζα νερού), και ακόμα και η ύπαρξη αέρα είναι περιορισμένη (ύψος ιδεατού χώρου = 0,1 m, ελάχιστο δυνατό σύμφωνα με το εύρος μεγεθών που εισάγεται στο SUNCODE-PC) ώστε να προσεγγίζονται με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ενεργειακή κατάσταση του συστήματος. Η θερμοκρασία του νερού εντός της ιδεατής θερμικής ζώνης ελέγχεται για κάθε ώρα της προσομοίωσης εξωτερικά του SUNCODE-PC, με τη βοήθεια κατάλληλου αλγόριθμου, ανάλογα με τη θερμοκρασία εισόδου και το θερμικό φορτίο που ανταλλάσσει το σύστημα με τον υποκάτω χώρο.

Για να καταστεί δυνατός αυτός ο έλεγχος της θερμοκρασίας – σύμφωνα πάντα με τον τρόπο λειτουργίας του προσομοιωτικού μοντέλου – το νερό θεωρείται ότι ψύχεται μέσω ενός ιδεατού κλιματιστικού (στην πραγματικότητα μέσω της παροχής του ψυχρού νερού) και εν συνεχεία το SUNCODE παρέχει αποτελέσματα σχετικά με τη θερμοκρασία του υποκάτω χώρου. Αυτή η θερμοκρασία, σε συνάρτηση με κάποια άλλα δεδομένα εισάγεται για κάθε ώρα στον τύπο

$$T_{out} = T_s - (T_s - T_l) \cdot e^{-\left(\frac{h \cdot A}{\dot{m} \cdot c_p}\right)} \quad (1)$$

και προκύπτει η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τις σωληνώσεις. Λόγω της χρήσης μαιάνδρου ως μέθοδο τοποθέτησης των σωληνώσεων, το ημιάθροισμα των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού θα είναι ουσιαστικά και η μέση θερμοκρασία του νερού που θα γίνεται η μετάδοση θερμότητας, η T_{bulk} δηλαδή. Αυτή η θερμοκρασία εισάγεται ως θερμοκρασία κλιματισμού της ιδεατής ζώνης και εν συνεχεία ακολουθούνται τα παραπάνω βήματα έως η μέση τιμή των απόλυτων τιμών των θερμοκρασιακών διαφορών του χώρου μεταξύ δυο συνεχόμενων βημάτων προσομοίωσης να βρεθεί πως είναι μικρότερη από ένα αποδεκτό μέγεθος. Αυτό το μέγεθος για τις ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκε ίσο με 0,01 °C. Αυτή η τάξη ακρίβειας επιτυγχάνεται συνήθως σε 3 ή 4 βήματα, ενώ υπάρχει και έλεγχος ασφαλείας πάνω από τα 9 βήματα, ενώ στα 12 βήματα η διαδικασία τελειώνει αυτόματα αναγνωρίζοντας κάποια ατέλεια στην εισαγωγή των δεδομένων. Παρόλα αυτά, ο έλεγχος είναι εντελώς τυπικός και, όπως αποδείχθηκε στην πράξη, δεν υπάρχει περίπτωση να λειτουργήσει εκτός από υπερβολικά νούμερα δεδομένων.

Δ. Διαδικασία υπολογισμού GWCooling

Γενικά, το πρόγραμμα GWCooling.exe είναι ένα πρόγραμμα που απλοποιεί πολύ τις διαδικασίες εισόδου των δεδομένων και υπολογισμού από τα αποτελέσματα των επομένων δεδομένων. Με το πάτημα ενός κουμπιού, πλέον, ο χρήστης μπορεί να δει την πορεία της θερμοκρασίας στο χρόνο και να αντιληφθεί τη λειτουργία του συστήματος δροσισμού.

Η διαδικασία που ακολουθεί το προαναφερθέν πρόγραμμα παρουσιάζεται και στο λογικό διάγραμμα και είναι η εξής:

1. Ανάγνωση δεδομένων από τη φόρμα του προγράμματος (βασικό παράθυρο δεδομένων)
2. Έλεγχος των δεδομένων και αντιστοίχησή τους σε μεταβλητές τύπου Boolean, Double, Integer, Matrix κτλ
3. Έλεγχος τυρβώδους ή στρωτής ροής εντός των αγωγών και ταυτόχρονη εύρεση συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από το σωλήνα προς το νερό
4. Δημιουργία των αρχείων εισόδου (.blg) για το κτίριο χωρίς τη λειτουργία του GWCooling
5. Τρέξιμο μια φορά του προγράμματος SUNCODE (EDITS.exe και LOADS.exe) για την εύρεση όλων των ωρών που το κτίριο χρειάζεται δροσισμό
6. Ανάγνωση αποτελεσμάτων από τα αρχεία εξόδου (.unf)
7. Υπολογισμός της θερμοκρασίας κλιματισμού της ιδεατής ζώνης (θερμοκρασία νερού στη διάταξη δροσισμού)
8. Εγγραφή όλων των χρήσιμων αποτελεσμάτων σε αρχείο EXCEL ώστε να παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου της προόδου της προσομοίωσης
9. Επανάληψη των βημάτων 4 – 8 με τη λειτουργία όμως του συστήματος GWCooling και αν οριστεί και του κλιματιστικού
10. Έλεγχος σύγκλισης μεταξύ των βημάτων.

Τα βήματα 9 και 10 ακολουθούνται έως το τέλος της προσομοίωσης που συνεπάγεται και σύγκλιση μεγάλου βαθμού.

Έπειτα από την τελική σύγκλιση, και αφού επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο προσομοίωσης, τα αποτελέσματα εισάγονται σε ειδικό αρχείο EXCEL και μορφοποιούνται αυτόματα με τη βοήθεια ειδικών αλγόριθμων που περιέχει το πρόγραμμα. Το εν λόγω αρχείο έχει την ονομασία που του προσδίδουν οι μεταβλητές με τη σειρά που ορίστηκαν. Δηλαδή, το αρχείο “RESULTS30-0.3-0.02-19-12000-26.xls” θα περιγράφει το σύστημα που έχει 30 m² επιφάνεια εναλλαγής, 0.3 kg/sec παροχή ύδατος, 0.02 m διάμετρο, 19 °C ως θερμοκρασία εισαγωγής του νερού, θα χρησιμοποιείται κλιματιστική μονάδα παράλληλα ισχύος 12.000 BTU/h και ο θερμοστάτης κλιματισμού του αέρα του χώρου θα βρίσκεται στους 19 °C.

Ο χρήστης, στο τέλος της διαδικασίας, βρίσκεται μπροστά σε μια καρτέλα με κάποια συνοπτικά στοιχεία, που παρουσιάζουν τα κύρια αποτελέσματα της προσομοίωσης. Σε άλλες καρτέλες μπορεί να δει τα αποτελέσματα για όλες τις ώρες, καθώς και διαγράμματα θερμοκρασιών, σχετικής υγρασίας και δεικτών θερμικής άνεσης PMV και PPD. Τα διαγράμματα περιορίζονται σε περίοδο 500 ωρών για την καλύτερη κατανόηση τους, αλλά η περίοδος ελέγχου μπορεί να μεταβληθεί κατά βούληση από το χρήστη.

4. Σύνοψη κεφαλαίου – συμπεράσματα

Συνοψίζοντας αυτό το κεφάλαιο, θα πρέπει να τονιστεί η έλλειψη επαρκούς γνώσης του επιστημονικού κόσμου για τη συγκεκριμένη διάταξη εφαρμογής δροσισμού. Όχι μόνο δεν συναντήθηκε πουθενά ανάλογη διάταξη ως εμπορικό προϊόν ή ως εφαρμογή, αλλά ουδέποτε διερευνήθηκε η απόδοσή της ή ακόμη και η οικονομική σκοπιμότητα που τη συνοδεύει. Σε μια προσπάθεια που καταβλήθηκε για την εξεύρεση στοιχείων, συλλέχθηκαν διάφορες πληροφορίες και αξιολογήθηκαν με παραμετρικό τρόπο. Αυτό βοηθάει την εργασία να αντιμετωπίσει οποιουδήποτε κινδύνους ελλοχεύουν λόγω των παραδοχών που αναφέρθηκαν.

Η κατανόηση του φαινομένου της μετάδοσης θερμότητας από το κτίριο προς την οροφή δροσισμού, καθώς και η συνεχής ενασχόληση με πλήθος παραμέτρων σχετικών με αυτή τη διεργασία, έδωσε τη δυνατότητα να αντιμετωπιστούν διάφορα προβλήματα σχετικά με τον προγραμματισμό. Ο υπολογιστικός κώδικας, πλέον, είναι έτοιμος να ανταποκριθεί σε ένα εύρος παραμετρικών τιμών για τις οποίες τα αποτελέσματα είναι, εμπειρικός τουλάχιστον, ορθά. Η περαιτέρω τεκμηρίωσή τους θα πρέπει να στηριχτεί αργότερα σε πειραματικό επίπεδο, καθώς θα πρέπει να

ελεγχθούν διεξοδικά και οι διάφορες κατασκευαστικές λύσεις που προτείνονται. Σε επίπεδο, παρόλα αυτά, εκπόνησης διπλωματικής εργασίας, η ανάπτυξη πρωτότυπου κώδικα είναι μία διαδικασία που εκ των πραγμάτων έχει σχετικά περιορισμένο εύρος ακρίβειας και αξιοπιστίας.

Μοντέλο προσομοίωσης και σύζευξή του με το SUNCODE-PC

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

1. Μέθοδοι θερμικής ανάλυσης	66
2. Εφαρμογή της προσομοίωσης σε κτίρια	67
<i>Α. Η φιλοσοφία λειτουργίας τού προσομοιωτικού προγράμματος</i>	67
3. Περιγραφή εισαγόμενων δεδομένων SUNCODE-PC	69
4. Περιγραφή αποτελεσμάτων προσομοίωσης SUNCODE-PC	71
5. Περιγραφή διαδικασίας προσομοίωσης για το εξεταζόμενο κτίριο.	72
<i>Α. Στόχος της διαδικασίας προσομοίωσης.</i>	72
<i>Β. Η πραγματοποίηση των συγκριτικών ελέγχων.</i>	72
6. Οι παραδοχές της προσομοίωσης	73
<i>Α. Περιγραφή του σπιτιού.</i>	73
<i>Β. Θερμική μόνωση του κτιρίου.</i>	74
<i>Γ. Χρήση του κτιρίου και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.</i>	75
<i>Δ. Καθορισμός θερμικών ζωνών κτιρίου.</i>	76
<i>Ε. Παράμετροι περιβάλλοντα χώρου.</i>	77

1. Μέθοδοι θερμικής ανάλυσης

Για τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων και τη διαμόρφωση του εσωτερικού τους περιβάλλοντος (εσώκλιμα) απαιτείται ο προσδιορισμός των παραμέτρων του θερμικού ισοζυγίου, καθώς και της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης.

Η θερμική ανάλυση είναι το βασικό μέσο όχι μόνο για τον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου, αλλά και για την αξιολόγηση της θερμικής συμπεριφοράς διατάξεων θέρμανσης και ψύξης, όπως το σύστημα δροσίσιμου GWCooling.

Τα τεχνολογικά εργαλεία που υπάρχουν σήμερα διαθέσιμα απαρτίζονται από αναλυτικές μεθόδους και εμπειρικούς κανόνες που αποκτήθηκαν στο χώρο της φυσικής των κατασκευών τα τελευταία χρόνια, και ειδικότερα την τελευταία δεκαετία. Στη σχετική βιβλιογραφία υπάρχουν ουσιαστικά τρεις μέθοδοι θερμικής ανάλυσης ως προς τη θεωρητική τους προέλευση. Οι σταθερών, οι ημισταθερών και οι δυναμικών συνθηκών, ενώ το μέσο που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς είναι: το «χέρι», ο μικροϋπολογιστής και ο μεγάλος υπολογιστής αντίστοιχα.

Η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων δυναμικών μεθόδων βασίζεται στη δημιουργία μιας μαθηματικής περιγραφής του φυσικού μοντέλου του κτιρίου. Υπάρχει μεγάλο πλήθος στοιχείων που απαιτούνται, προκειμένου να περιγραφεί ενεργειακά ένα κτίριο, το οποίο αφορά τα δομικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, το είδος και το πλήθος των λειτουργιών που παράγουν ενέργεια στο χώρο του, στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, καθώς και στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου. Όλα αυτά τα στοιχεία συνθέτουν το κλειστό ενεργειακό σύστημα του κτιρίου (κτιριακό μοντέλο). Η εισαγωγή στην προσομοίωση του κλίματος της περιοχής, μέσω των κλιματικών αρχείων δημιουργεί το σύστημα μοντέλου - περιβάλλοντος.

Το προσομοιωτικό λογισμικό καλείται να υπολογίσει την αλληλεπίδραση κατά πρώτον μεταξύ των συστημάτων που απαρτίζουν το κτίριο, και κατά δεύτερο την αλληλεπίδραση κτιρίου και περιβάλλοντος, μέσω του υπολογισμού των ενεργειακών ροών του συστήματος του κτιρίου. Ο υπολογισμός στα σύγχρονα προγράμματα γίνεται με την επίλυση μεγάλου πλήθους μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες περιγράφουν τις ενεργειακές ροές που λαμβάνουν χώρα σε ένα κτίριο.

2. Εφαρμογή της προσομοίωσης σε κτίρια

Α. Η φιλοσοφία λειτουργίας τού προσομοιωτικού προγράμματος

Η ενεργειακή προσομοίωση των κτιρίων αποτελεί σήμερα το κυριότερο εργαλείο στον ενεργειακό έλεγχο των κτιρίων. Η συμβολή της στον έλεγχο καταλαμβάνει ιδιαίτερα σημαντική θέση, κυρίως όταν υπάρχει πλήθος μετρήσεων, το οποίο συμβάλλει στη ακριβέστερη δημιουργία του κτιριακού μοντέλου. Η ενεργειακή προσομοίωση δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς περιγραφής του θερμικού και ενεργειακού ισοζυγίου ενός κτιρίου, βοηθώντας στην αξιολόγηση των επιμέρους συστημάτων, τα οποία συνθέτουν το κτίριο και επηρεάζουν την ενεργειακή του κατάσταση. Όμως, σε όλα τα εμπορικά πακέτα λογισμικού που είναι σήμερα διαθέσιμα, μπορούν να εισαχθούν στο φυσικό μοντέλο οι βασικές μόνο διατάξεις που συμμετέχουν στο ενεργειακό ισοζύγιο των κτιρίων (παθητικές, υβριδικές ή ενεργητικές διατάξεις).

Η ένταξη στην ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων ενός πρωτότυπου συστήματος – όπως αυτό που εξετάζεται – δεν είναι δυνατή χωρίς τη συγγραφή επιπρόσθετου υπολογιστικού κώδικα σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού. Ο σκοπός αυτού του κώδικα, είναι να εντάξει το εξεταζόμενο σύστημα στην ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου. Η ένταξη, ή σύζευξη όπως συνηθίζεται να ονομάζεται, γίνεται με διάφορες τεχνικές, ανάλογα με τη φύση του προγράμματος προσομοίωσης και τη διαθεσιμότητα του κώδικά του. Στην περίπτωση των «κομβικών μοντέλων», όπως το SUNCODE, στα οποία κάθε στοιχείο, διάταξη ή λειτουργία που επιδρά στο ενεργειακό ισοζύγιο αναπαρίσταται στο φυσικό μοντέλο από ένα κόμβο που ανταλλάσσει ενέργεια και βρίσκεται σε «ενεργειακή ισορροπία» με τους υπόλοιπους, η σύζευξη γίνεται με την εισαγωγή στο φυσικό μοντέλο μιας ιδεατής θερμικής ζώνης. Ο χρήστης, μέσα από τη συγγραφή του κατάλληλου προγραμματιστικού κώδικα, επιδιώκει να επιτύχει μια θερμική επικοινωνία της ιδεατής ζώνης με το υπόλοιπο κτίριο, ταυτόσημη με την θερμική επικοινωνία που έχει η ελεγχόμενη διάταξη με το κτίριο, σε πραγματικές συνθήκες. Για αυτό το λόγο και προκειμένου να καταστεί δυνατή η προσομοιωτική ανάλυση του συστήματος δροσισμού GWCooling, αναπτύχθηκε από τον γράφοντα ειδικό μοντέλο προσομοίωσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το μαθηματικό υπόβαθρο του προγράμματος, βασίζεται σε απλές εφαρμογές μετάδοσης θερμότητας, αναλυτικής προσομοίωσης και στοιχείων ρευστομηχανικής. Είναι σε θέση να πραγματοποιεί τον υπολογισμό των εσωτερικών

θερμοκρασιών του νερού που κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα GWCooling, καθώς και της θερμικής ροής από ή προς τον υποκάτω χώρο με χρονικό βήμα προσομοίωσης τη μια ώρα.

Ο αλγόριθμος υπολογισμού λαμβάνει υπόψη την ανταλλαγή θερμότητας του νερού με τον εσωτερικό χώρο για διάφορες παραμέτρους που μπορεί να επηρεάζουν την απόδοση του υπόψιν συστήματος. Πραγματοποιεί αναλυτικό υπολογισμό των φυσικών μεγεθών, τα οποία μεταβάλλονται, όπως ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και η ψυκτική ισχύς του συστήματος δροσισμού. Στα δεδομένα του προγράμματος εισάγονται οι φυσικές ιδιότητες καθώς και ένα πλήθος χαρακτηριστικών που αφορούν στη θερμοκρασία του εισερχόμενου νερού και στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες του συστήματος.

Το μοντέλο δεν επιτρέπει τη συνολική ενεργειακή προσομοίωση του κτιρίου, καθώς οι δυνατότητες του εξαντλούνται στην αναλυτική προσομοίωση του συστήματος GWCooling. Η περαιτέρω ανάπτυξη του, ώστε να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει συνολική θεώρηση του κτιρίου, ξεπερνά τα όρια μελέτης μιας διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης υπάρχουν ήδη διαδεδομένα αντίστοιχα εργαλεία τα οποία είναι διαθέσιμα στο εμπόριο. Για αυτό το λόγο η δημιουργία του μοντέλου έγινε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι σε θέση να επικοινωνήσει σε επίπεδο προγραμματιστικού κώδικα με το αναγνωρισμένο προσομοιωτικό λογισμικό Suncode-PC (έκδοση 6.0), της εταιρίας ECOTOPE, INC. Πρόκειται για διεθνώς αναγνωρισμένο πρόγραμμα ενεργειακών προσομοιώσεων κτιρίων μεσαίου μεγέθους, το οποίο διδάχτηκε στο δέκατο εξάμηνο σπουδών του τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας στο μάθημα του Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτιρίων Ι από τον διδάσκοντα Δρ Θ. Θεοδοσίου.

Μ' αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η ενεργειακή θεώρηση του συστήματος GWCooling ως αναπόσπαστου τμήματος του κτιρίου και η πραγματοποίηση της ενεργειακής προσομοίωσης, όπως γίνεται σε ένα σύνθετο κτίριο.

Το Suncode-PC είναι ένα πρόγραμμα δυναμικής θερμικής ανάλυσης που μπορεί να έχει εφαρμογή τόσο σε ιδιωτικά κτίρια (κατοικίες), όσο και σε μικρά δημόσια κτίρια (γραφεία, σχολεία κ.α.). Αποτελεί δε, την αντίστοιχη έκδοση του προγράμματος SERI/RES (για μικροϋπολογιστή). Είναι πρόγραμμα εφάμιλλο του

Αροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Αροσισμού

DOE2 και του BLAST. Η μέθοδος της ανάλυσης που χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα είναι η δυναμική προσομοίωση.

Το θερμικό μοντέλο του κτιρίου δημιουργείται από το χρήστη και μεταφράζεται από το πρόγραμμα σε μαθηματική μορφή, ενώ οι μαθηματικές ισότητες επιλύονται διαδοχικά με βήμα επανάληψης την ώρα, τη μέρα ή το μήνα, για το χρόνο που διαρκεί η προσομοίωση (συνήθως ένα έτος, στην παρούσα εργασία πέντε μήνες, αυτούς του «καλοκαιριού»).

3. Περιγραφή εισαγόμενων δεδομένων SUNCODE-PC

Το μοντέλο του κτιρίου εισάγεται στο πρόγραμμα, με την περιγραφή των αδιαφανών και διαφανών, δομικών στοιχείων του κτιρίου, ανά όψη. Το πλήθος των δομικών στοιχείων μιας όψης αποτελείται από τα διαφορετικά στοιχεία που την συνιστούν, όπως τα ανοίγματα, ο φέρων οργανισμός και οι τοιχοποιίες.

Τα εσωτερικά δομικά στοιχεία, όσα δηλαδή περιλαμβάνονται εντός του κελύφους του κτιρίου, στην περίπτωση θεώρησης μονοζωνικού μοντέλου, λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, μόνο ως προς την θερμοχωρητική τους ικανότητα. Τέτοια στοιχεία είναι οι πλάκες των ορόφων, οι εσωτερικές τοιχοποιίες καθώς και τα εσωτερικά στοιχεία του φέροντος οργανισμού του κτιρίου.

Πίνακας 1. Παράδειγμα βιβλιοθήκης περιγραφής διαστρωμάτωσης δομικού στοιχείου

WALL.TYPES						
* WALL	LAYER	LAYER	LAYER	LAYER	LAYER	LAYER
* TYPE	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
*AAAAAAAAA	AAAAAAAAA	AAAAAAAAA	AAAAAAAAA	AAAAAAAAA	AAAAAAAAA	AAAAAAAAA
(1) WALL.1	Plaster	Brick09	Polystryn	Brick09	Plaster	<NONE>
(2) Conc.1	Plaster	Conc-15	Plaster	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(3) FlatRoof	Plaster	Conc-15	LightConc	Bitument	<NONE>	<NONE>
(4) SLAB	Plaster	Conc-15	Plaster	TilesRubb	<NONE>	<NONE>

Πίνακας 2. Παράδειγμα βιβλιοθήκης περιγραφής ιδιοτήτων υλικών

MASS.TYPES					
* MASS TYPE	CONDUCTIVITY	DENSITY	SPECIFIC HEAT	THICKNESS	NODES
*	[W/M-C]	[KG/CM]	[KJ/KG-C]	[M]	
*AAAAAAAAA	X.XXXX	XXXX.XXX	X.XXXX	XX.XXXX	XX.
Brick09	0.52	1200.000	0.7900	00.1000	2.
Brick20	0.52	1200.	0.79	0.2	3.
Conc-15	2.0300	2400.000	0.653	0.15	5.
Conc-20	2.0300	2400.000	0.653	0.20	5.
Mosaic	1.1	1500.	0.88	0.03	2.
Plaster	0.87	1900.000	1.	00.0200	2.
Woodwool	0.10	500.000	1.	0.05	2.
Polystryn	0.03	25.	1.	0.05	2.
LightConc	0.41	1200.000	0.8400	0.1	2.
TilesRubb	0.30	1600.	2.	0.02	1.
Bitument	0.5000	1700.000	1.	0.0050	2.

Τα αδιαφανή δομικά στοιχεία περιγράφονται αναλυτικά ως προς τις διαστάσεις και τη γεωμετρία τους στο χώρο, τη διαστρωμάτωση, καθώς και τις φυσικές ιδιότητες των υλικών που τα συνθέτουν.

Τα ανοίγματα περιγράφονται με την εισαγωγή στα δεδομένα του προγράμματος, των διαστάσεων, των κλίσεων των υαλοπινάκων, το υλικό και τις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, την τυχούσα ύπαρξη ηλιοπροστατευτικών διατάξεων και τέλος του αριθμού στρώσεων του υαλοστασίου (μονός – διπλός υαλοπίνακας)

Πίνακας 3. Παράδειγμα βιβλιοθήκης περιγραφής υαλοστασίου ανοίγματος

GLAZING TYPES	GLAZING	SHADING	EXTINCTION	INDEX OF REFRACTION	THICKNESS OF LAYER	NUMBER OF LAYERS
* GLAZING TYPE	U VALUE [W/SM-C]	COEF. [FRAC]	COEF. [1/MM]	[NONE]	[MM]	XX.
*AAAAAAAAA	SS.SSSSS	SS.SSSSS	X.XXXX	X.XXXX	X.XXXX	XX.
SINGLE	6.0	0.4	0.0197	1.5260	4.	1.
DOUBLE	3.2	0.45	0.0160	1.5260	4.	2.

Αφότου οριστούν από τη χρήση οι παραπάνω βιβλιοθήκες, και οι επιφάνειες του κτιρίου, εισάγονται στο πρόγραμμα διάφορα στοιχεία τα οποία περιγράφουν τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης, όπως οι θερμοκρασίες ρύθμισης θερμοστάτη, οι ώρες και οι ημέρες λειτουργίας της κεντρικής θέρμανσης, καθώς και η περίοδος λειτουργίας της, και αντίστοιχα και για τον κλιματισμό και τον εξαερισμό.

Η εισαγωγή των δεδομένων, ολοκληρώνεται με την επιλογή των μεγεθών που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου. Τέτοια μεγέθη είναι :

Ανεξέλεγκτος αερισμός (εναλλαγές αέρα την ώρα). Είναι τιμή η οποία εξαρτάται κυρίως από την φύση και την κατάσταση των κουφωμάτων.

Εσωτερικά θερμικά φορτία (kW). Η τιμή αυτή συμπεριλαμβάνει τα θερμικά φορτία που παράγονται από τον άνθρωπο, ανάλογα της δραστηριότητας του, καθώς και την ύπαρξη συσκευών και λαμπτήρων.

Σκιασμός κτιρίου από περιμετρικά εμπόδια, όπως είναι τα γειτονικά κτίρια.

Ανακλαστικότητα εδάφους, περιμετρικά του κτιρίου

Ορισμένα στοιχεία δεν δίνονται ως απόλυτες τιμές, αλλά μπορούν να προγραμματιστούν για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, ώστε να συμπεριλάβουν δυναμικά φαινόμενα, όπως ο νυχτερινός αερισμός ή άλλες ενέργειες, οι οποίες δεν πραγματοποιούνται συνεχώς, αλλά διακεκομμένα.

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

Τέλος, η προσομοίωση πρέπει να συνοδεύεται από συγκεκριμένης μορφής κλιματικά αρχεία (Test Reference Year), τα οποία χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των προσομοιωτικών προγραμμάτων υπολογιστή. Στα αρχεία αυτά περιέχονται ωριαίες τιμές κλιματικών μεγεθών, οι οποίες προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία, με τυποποιημένους αλγόριθμους, και από κλιματικά δεδομένα της περιοχής για μία περίοδο τουλάχιστο 10 ετών.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, στα δεδομένα του προγράμματος, υπάρχει ένας αριθμός τιμών, οι οποίες έχουν δεδομένη τιμή, όπως οι διαστάσεις, οι προσανατολισμοί, οι ιδιότητες των υλικών. Κάποιες τιμές όμως, ορίζονται από τον χρήστη, μια και ο ακριβής υπολογισμός τους απαιτεί επίτονη, και ακριβή, από άποψη μετρητικού εξοπλισμού, διαδικασία. Μέσα από πλήθος πινάκων είναι δυνατόν για κάθε τύπο κτιρίου, ανάλογα της μορφολογίας και της χρήσης του, να προκύψουν οι τιμές αυτές χωρίς σημαντική απόκλιση από την πραγματικότητα.

4. Περιγραφή αποτελεσμάτων προσομοίωσης SUNCODE-PC

Στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, περιλαμβάνονται μεγέθη τα οποία εκφράζουν τις ενεργειακές ροές και τις θερμοκρασιακές συνθήκες στους χώρους του κτιρίου. Η συχνότητα με την οποία μπορούν να παρουσιαστούν, ορίζεται από το χρήστη, και μπορεί να είναι από ωριαία, μέχρι και ετήσια.

Σε συντομία, τα βασικότερα μεγέθη, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4. Αποκτώμενα μεγέθη προσομοίωσης

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ
Κατανάλωση Συστήματος κλιματισμού	kJ	Θερμοκρασίες δομικών στοιχείων	°C
Θερμικές πρόσοδοι από τα δομικά στοιχεία, το σύστημα θέρμανσης και τα εσωτερικά φορτία.	kJ	Θερμικές απώλειες από τα δομικά στοιχεία και τον αερισμό	kJ
Μέγιστα φορτία συστήματος κλιματισμού	kW	Θερμοχωρητική ικανότητα κτιρίου	KJ/°C

Ένα αρχείο εξόδου σε μορφή UNF δίνεται στο Παράρτημα 2. Εκεί, για 2 ώρες της περιόδου φαίνεται το πλήθος των εξαγόμενων τιμών από το SUNCODE, καθώς και παρατηρούνται και οι ώρες που ο χώρος δε χρειάζεται κλιματισμό (εκείνες τις ώρες ο θερμοστάτης του ιδεατού κλιματιστικού είναι ίσος με 99.99 °C.

5. Περιγραφή διαδικασίας προσομοίωσης για το εξεταζόμενο κτίριο.

Α. Στόχος της διαδικασίας προσομοίωσης.

Ο προσομοιωτικός έλεγχος, ο οποίος διεξήχθη στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας είχε δύο κύριους στόχους:

- Τη σύγκριση των ενεργειακών μεγεθών, τα οποία προκύπτουν από την παρουσία και λειτουργία του συστήματος GWCooling στο κτίριο, συγκριτικά με τα ενεργειακά μεγέθη της ίδιας κατοικίας με ένα συμβατικό κλιματιστικό.
- Τη διερεύνηση της μεταβολής, την οποία μπορούν να επιφέρουν σ' αυτά τα ενεργειακά μεγέθη διαφορετικές επιλογές δεδομένων για τις παραμέτρους του συστήματος GWCooling, μια παραμετρική, δηλαδή, ανάλυση.

Οι διαφορετικοί εναλλακτικοί τύποι του συστήματος δροσισμού ελέγχθηκαν για μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου μόνο, έχοντας κοινά σ' όλους τούς ελέγχους τα υπόλοιπα κατασκευαστικά και λειτουργικά στοιχεία του χώρου, ώστε οι συγκρίσεις να γίνονται υπό τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Μ' αυτό τον τρόπο, οι όποιες διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα των ελέγχων οφείλονται αποκλειστικά και μόνο στον τύπο του συστήματος, χωρίς να επηρεάζονται από άλλα φαινόμενα.

Δυστυχώς η μελέτη του συστήματος δροσισμού στηρίχθηκε αποκλειστικά σε θεωρητικά αποτελέσματα λόγω απουσίας μετρητικού εξοπλισμού και χρηματικών κονδυλίων για πειραματική υποστήριξη και επιβεβαίωση των θεωρητικών αποτελεσμάτων, που άλλωστε θα ήταν και υπερβολικό για το μέγεθος μιας διπλωματικής εργασίας. Συνεπώς τα αποτελέσματα μελλοντικά θα πρέπει να ελεγχθούν για την ακρίβειά τους από μεταγενέστερες έρευνες, σε επίπεδο πλέον πειράματος.

Β. Η πραγματοποίηση των συγκριτικών ελέγχων.

Αφού μελετήθηκε η ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου με χρήση μιας συμβατικής κλιματιστικής μονάδας, έγινε η σύγκρισή της με την αντίστοιχη συμπεριφορά του ίδιου κτιρίου δροσιζόμενης μέσω ενός υβριδικού συνδυασμού συμβατικού κλιματιστικού – συστήματος GWCooling και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος διαφορετικών κατασκευαστικών λύσεων του συστήματος, με τις οποίες συγκρίθηκε μια δεδομένη κατάσταση αναφοράς, προκειμένου να διερευνηθούν τα προτερήματα και μειονεκτήματα του συστήματος

δροσισμού, όσον αφορά στη συνεισφορά του στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου. Καθώς σ' αυτούς τους ελέγχους απαιτείται τα συμπεράσματα να έχουν διευρυμένη ισχύ και να μην εξαρτώνται από την χρήση του συγκεκριμένου κτιρίου, τα δεδομένα τα οποία αφορούν στα λειτουργικά κέρδη, προσδιορίστηκαν με βάση διεθνή πρότυπα περιγραφής τυπικών καταστάσεων λειτουργίας κτιρίων, ώστε να αντιπροσωπεύουν τυπικές χρήσεις.

6. Οι παραδοχές της προσομοίωσης

Α. Περιγραφή του σπιτιού

Το σπίτι βρίσκεται στην πόλη της Αθήνας με υψόμετρο 50 m, γεωγραφικό πλάτος 37,58 ° βόρεια και γεωγραφικό μήκος 23,43 ° ανατολικά, και για αυτό το λόγο έχουν χρησιμοποιηθεί τα κλιματικά αρχεία της συγκεκριμένης πόλης. Το κτίριο είναι μια τυπική μονοκατοικία εκτεθειμένη στο περιβάλλον, χωρίς εμπόδια ηλιασμού. Η κάτοψη του κτιρίου δίνεται παρακάτω καθώς και η εμπρόσθια, η οπίσθια και οι πλάγιες όψεις του. Επίσης, δίνονται και δύο τομές για την καλύτερη κατανόηση της δομής της εξωτερικής τοιχοποιίας. Η κάτοψη του χώρου είναι 90,5 m² και αντιπροσωπεύει μια μέση ελληνική κατοικία σε ότι αφορά στα βασικά χαρακτηριστικά. Στα σχέδια μπορεί κανείς να διακρίνει τη χωροθέτηση, καθώς και την παρουσία στο κτίριο και μεσοτοιχιών, γεγονός που αυξάνει την θερμική μάζα του κτιρίου.

Πρόκειται λοιπόν για ισόγεια μονοκατοικία για τον πλέον απλό, δηλαδή, χώρο. Η εσωτερική διαμόρφωση, αν και δεν επηρεάζει τις θερμοροές μέσω των εσωτερικών δομικών στοιχείων, προσθέτει θερμική μάζα, που σημαίνει πως αυξάνει τη θερμική αδράνεια του κτιρίου και τη θερμοχωρητικότητά του. Άλλωστε, για οικιακή χρήση επιβάλλεται η απομόνωση του εσωτερικού χώρου από το περιβάλλον και σε αυτό συμβάλλει και η τοποθέτηση της θερμομόνωσης στο εξωτερικό της τοιχοποιίας. Επιθυμητή λοιπόν και αναγκαία η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη θερμική μάζα.

β. Θερμική μόνωση του κτιρίου

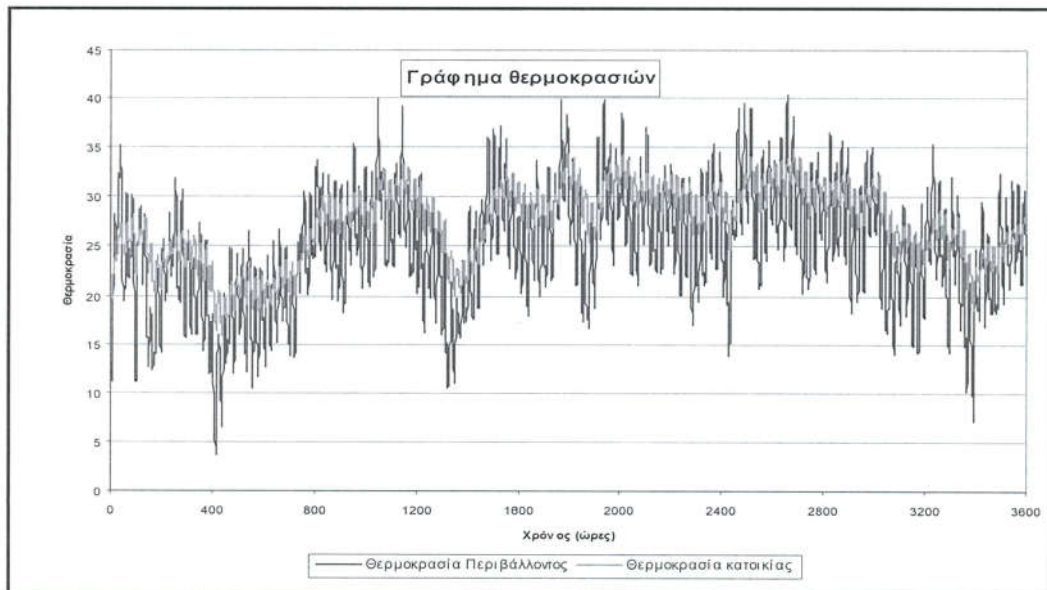
Λόγω της χρήσης που πρόκειται να γίνει σχετικά με το σύστημα δροσισμού, το σπίτι θα πρέπει γενικότερα να είναι πολύ καλά μονωμένο, κυρίως η οροφή, αφού κάτω από την εκτεθειμένη στον ήλιο επιφάνειά της θα τοποθετηθεί το σύστημα. Επιλέγεται λοιπόν να χρησιμοποιηθούν πλάκες 5 cm εξηλασμένης πολυστερίνης σε όλο το κέλυφος εκτός της οροφής και στην οροφή πλάκες 7 cm εξηλασμένης πολυστυρόλης. Αυτό το πάχος περιορίζει το δυνατόν τις απώλειες του συστήματος δροσισμού προς το περιβάλλον, αφού οι χαμηλές θερμοκρασίες του νερού δημιουργούν μια μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά με το εξωτερικό περιβάλλον.

Επιπρόσθετα, για την καλύτερη απόδοση της διάταξης δροσισμού, τοποθετείται μια λεπτή θερμομονωτική στρώση στην κάτω παρειά της πλάκας οροφής, προκειμένου να περιορίσει τη θερμική αδράνεια του συστήματος. Σε αντίθετη περίπτωση, κατά τις ώρες έναρξης λειτουργίας του συστήματος θα εμφανίζονταν ορισμένη θερμική αδράνεια λόγω της σύνδεσης με τη μάζα του σκυροδέματος. Κατασκευαστικά, η τοποθέτηση πλακών εξηλασμένης πολυστερίνης στην κάτω παρειά της οροφής είναι απλή και φτηνή μια που γίνεται κατά το στάδιο της σκυροδέτησης της οροφής.

Για τη θερμομόνωση του υπόλοιπου εξωτερικού κελύφους χρησιμοποιείται μόνωση στον πυρήνα της τοιχοποιίας και εξωτερική στα στοιχεία φέροντα οργανισμού, προκειμένου να περιοριστούν οι θερμογέφυρες αλλά και να ενσωματωθεί η αυξημένη θερμική μάζα του φέροντα οργανισμού στη θερμική ζώνη του κτιρίου. Πράγματι, σε μια κατοικία αυτό που ενδιαφέρει κυρίως τους ενοίκους δεν είναι τόσο η αμεσότητα του κλιματισμού, αλλά πιο πολύ η αντίσταση του εσωτερικού χώρου στις αλλαγές του εξωκλίματος.

Τα παράθυρα είναι σύγχρονα, διπλού υαλοπίνακα, χαμηλής θερμοπερατότητας. Για τον περιορισμό των ηλιακών κερδών και των κερδών λόγω ακτινοβολίας από τις εξωτερικές, θερμότερες επιφάνειες, χρησιμοποιούνται και κουρτίνες. Γενικότερα, υπάρχει μια τάση για αποκοπή του εσωκλίματος από το εξωτερικό περιβάλλον, για μια αμυντική στρατηγική δηλαδή, όπως αναφέρεται στην ορολογία του ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων¹.

¹ Σημειώσεις Ενεργειακού Σχεδιασμού Κτιρίων, Θ' εξαμήνου σπουδών του τμήματος



Διάγραμμα 1.Θερμοκρασιακή διακύμανση στην υπόψιν κατοικία για όλη την περίοδο κλιματισμού. Φαίνεται καθαρά η ανάγκη ύπαρξης και λειτουργίας ενός συστήματος κλιματισμού / δροσισμού

C. Χρήση του κτιρίου και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Το κτίριο θεωρήθηκε ότι έχει καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης συνεχή χρήση. Συγκεκριμένα, επειδή πρόκειται για τη θερινή περίοδο έγινε η παραδοχή της χρήσης κλιματισμού, ώστε να ελεγχθεί η συμβολή του συστήματος GWCooling στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για δροσισμό. Σε όλες τις προσομοιώσεις, μπορεί να επιλεγεί το μέγεθος της ψυκτικής ισχύος, ώστε να υπολογιστεί το αντίστοιχο ψυκτικό φορτίο το οποίο απαιτείται κάθε φορά για την εκπλήρωση των συνθηκών θερμικής άνεσης.

Το κτίριο βρίσκεται σε οικόπεδο που δε δέχεται εμπόδια ηλιασμού και αερισμού από άλλα παρακείμενα κτίρια. Συνεπώς πρόκειται για ένα πλήρως εκτεθειμένο κτίριο στις εξωκλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου, που, αφού βρίσκεται σε περιοχή πολύ υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι, οι συνθήκες αυτές θα έχουν άμεσο αντίκτυπο σε μικροκλιματικό επίπεδο εντός του κτιρίου.

Το κτίριο δεν αποτελεί υπαρκτή κατασκευή και συνεπώς η χωροθέτησή του ακολουθεί την χωροθέτηση μιας τυπικής κατοικίας 90 m².

Δ. Καθορισμός θερμικών ζωνών κτιρίου

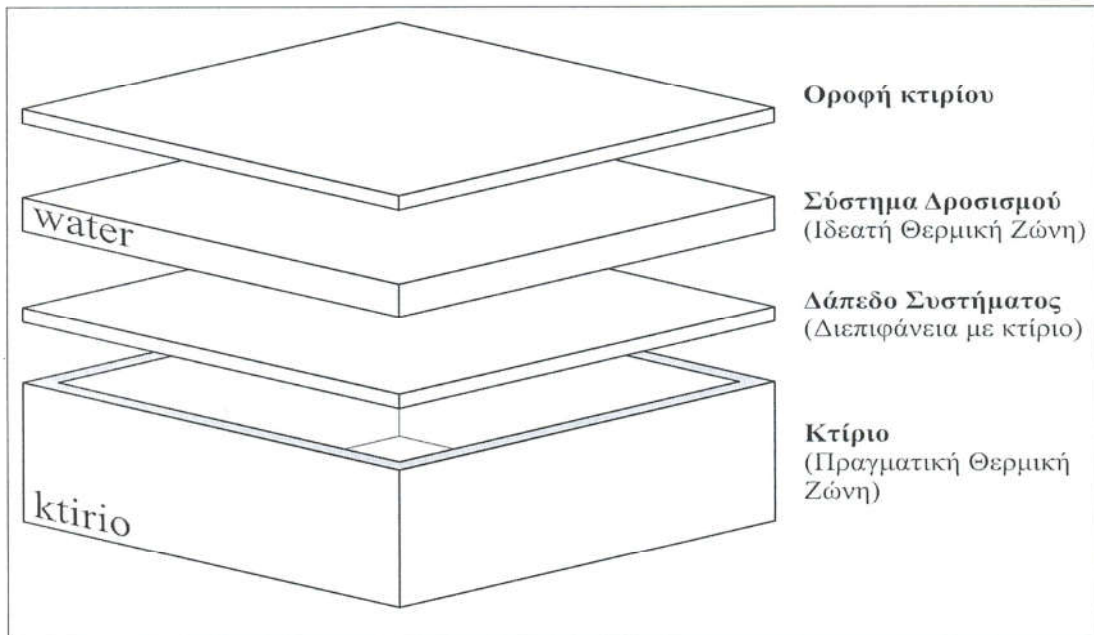
Η πρωταρχική επιλογή, η οποία επηρεάζει σημαντικά την έκταση και την πολυπλοκότητα του δημιουργούμενου μοντέλου, είναι η επιλογή του πλήθους των θερμικών ζωνών, οι οποίες συνθέτουν το κτίριο. Οι προϋποθέσεις, τις οποίες πρέπει να πληροί ο χώρος προκειμένου να μπορεί να θεωρηθεί ως θερμική ζώνη είναι κυρίως:

- η ύπαρξη κοινών εσωκλιματικών συνθηκών
- το κοινό σύστημα θέρμανσης - ψύξης
- η κοινή χρήση σε όλη την έκταση του χώρου
- το κοινό ωράριο χρήσης του χώρου και λειτουργίας του οποιουδήποτε εξοπλισμού

Συνδεδεμένοι θερμικά χώροι, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν διαφορά άλλη πέρα από το χωροταξικό διαχωρισμό τους, μπορούν να ενοποιηθούν σε μια ζώνη εφόσον δεν αναιρούνται τα παραπάνω.

Για τις ανάγκες της εργασίας, όλος ο εσωτερικός χώρος του κτιρίου πλην του συστήματος GWCooling τηρεί τις προϋποθέσεις που απαιτούνται προκειμένου να μπορεί να χαρακτηριστεί ως θερμική ζώνη καθώς έχει σαφώς καθορισμένη χρήση, γνωστό σύστημα θέρμανσης και οι χώροι του δεν παρουσιάζουν ουσιαστική διαφοροποίηση ως προς το εσωκλίμα. Αν και οι χώροι στους οποίους διαιρείται ο χώρος βρίσκονται σε διαφορετικούς προσανατολισμούς, ωστόσο, το μικρό εμβαδόν του επιτρέπει τη θεώρηση μιας θερμικής ζώνης (μονοζωνικό μοντέλο), η οποία περιλαμβάνει όλο το χώρο.

Το σύστημα GWCooling βρίσκεται σε μια άλλη θερμική ζώνη (ιδεατή μια που κατασκευαστικά δεν υπάρχει, αλλά εισάγεται για την ένταξη του συστήματος στο φυσικό μοντέλο της προσομοίωσης) ακριβώς πάνω από τον κύριο χώρο της κατοικίας. Η ζώνη αυτή, ουσιαστικά αποτελείται από τη μάζα του νερού που βρίσκεται εντός του συστήματος. Οι ιδιότητες των ζωνών και η διεπιφάνεια μεταξύ τους θα σχολιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 1. Σχηματική διάταξη του κτιρίου και του συστήματος GWCooling όσον αφορά τον ορισμό τους στο SUNCODE. Φαίνονται οι δύο θερμικές ζώνες και η διεπιφάνειά τους.

Ε. Παράμετροι περιβάλλοντα χώρου

Η περιοχή γύρω από το κτίριο επηρεάζει άμεσα τη σχέση του κτιρίου με το περιβάλλον, καθώς η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά της είναι σε θέση να μεταβάλλουν σημαντικά την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στο κτίριο, καθώς επίσης και να μειώσουν το φυσικό αερισμό του κτιρίου.

Ανακλαστικότητα του εδάφους

Η τιμή της ανακλαστικότητας του εδάφους προκύπτει ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων τιμών για κάθε υλικό που αποτελεί την ανώτατη στρώση των οριζόντιων επιφανειών περιμετρικά της θερμικής ζώνης. Η ανακλαστικότητα σ' αυτές τις περιπτώσεις εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 0,3 (30%). Η τιμή αυτή προτείνεται και από τους κατασκευαστές του προγράμματος SUNCODE-PC², καθώς και από πανεπιστημιακό σύγγραμμα³, όπου η τιμή αυτή αποτελεί μια μέση τιμή των

² Suncode-PC (v 6.0) ECOTOPE, INC

³ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, σελ. 209

ανακλαστικότητας των διαφόρων υλικών του περιβάλλοντα χώρου. Ως παράδειγμα δίδεται η ανακλαστικότητα της ασφαλτοστρωμένης επιφάνειας (0,07), του γρασιδιού (0,33) και του σκυροδέματος (0,45).

Εμπόδια ηλιασμού

Επειδή το συγκεκριμένο κτίριο είναι υπό μελέτη και δεν υφίσταται, θα γίνει η θεώρηση ότι δεν σκιάζεται από παρακείμενα κτίρια ή άλλα εμπόδια (δέντρα κτλ). Άλλωστε αυτό αποτελεί και την χείριστη περίπτωση για τη θερινή περίοδο, γεγονός που βελτιστοποιεί τα αποτελέσματα της εργασίας σχετικά με την βιωσιμότητα του συστήματος GWCooling που θα παρουσιαστούν εν συνεχεία.

Αερισμός ζώνης

Ο αερισμός του χώρου (ανανέωση του περιεχόμενου αέρα) πραγματοποιείται για λόγους δροσισμού το καλοκαίρι. Είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον, η οποία λόγω εξαιρετικής πολυπλοκότητας, αντιμετωπίζεται διεθνώς με τη χρήση καθιερωμένων προτύπων, ανάλογα με το μέγεθος του χώρου, τη χρήση του και την ποιότητα των ανοιγμάτων. Διακρίνεται σε δυο είδη,

- Στον αθέμιτο αερισμό (infiltration), ο οποίος πραγματοποιείται δια μέσου των χαραμάδων στο κέλυφος και στα κουφώματα και
- Στον αερισμό ο οποίος προκαλείται από το άνοιγμα των παραθύρων και εξωθύρων.

Για τις ανάγκες της προσομοιωτικής εργασίας, τις βραδινές ώρες θα πραγματοποιείται διαμπερής αερισμός από τα βορινά και τα νότια ανοίγματα. Η ποιότητα των κουφωμάτων από άποψη αεροστεγανότητας θα είναι ικανοποιητική. Με αυτά τα δεδομένα και λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση του, από σχετικές αναφορές⁴ προκύπτουν τιμές αερισμού της τάξεως της 1 εναλλαγής αέρα ανά ώρα, ως αθέμιτος αερισμός, για όλη τη διάρκεια του έτους την ημέρα (9:00 – 20:00) και 6 εναλλαγών ανά ώρα τις βραδινές ώρες (υπόθεση νυχτερινού αερισμού για εκτόνωση της θερμότητας που έχει αποθηκευθεί στα δομικά στοιχεία του κτιρίου). Οι τιμές αυτές

⁴ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, σελ. 114 - 115

αποτελούν ρεαλιστική απεικόνιση της πραγματικότητας δεδομένου ότι το κτίριο θεωρείται εκτεθειμένο στον άνεμο.

Εσωτερικά κέρδη ζώνης

Ως εσωτερικά κέρδη ζώνης, ορίζονται οι θερμικές πρόσοδοι, οι οποίες προέρχονται από τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών, του φωτισμού και από την παρουσία ανθρώπων στο χώρο. Από υπολογισμούς του τυπικού εξοπλισμού ενός κτιρίου κατοικίας, της θέσης, του πλήθους και των ωρών λειτουργίας του φωτισμού καθώς και της προσέλευσης και παραμονής ανθρώπων στο κτίριο, υπολογίστηκαν τα εσωτερικά κέρδη στη διάρκεια της ημέρας και του έτους. Σύμφωνα με την τυποποίηση κατά ASHRAE⁵, ο κάθε άνθρωπος με μέτρια εργασία γραφείου, παράγει κατά μέσο όρο περί τα 65 W/m², τόσο ως θερμικά, όσο και ως λανθάνοντα κέρδη.

Επειδή πρόκειται για κατοικία, δε γίνεται διάκριση εποχιακή ή ημερήσια, έγινε δηλαδή θεώρηση κτιρίου με συνεχή ετήσια και εβδομαδιαία χρήση. Το πλήθος των ενοίκων εκτιμήθηκε στα τέσσερα άτομα, δυο ενήλικες και δυο παιδιά, κατάσταση αρκετά αντιπροσωπευτική των περισσότερων ελληνικών νοικοκυριών. Σε αυτή την περίπτωση ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποτελείται από το σύνολο των συσκευών, τις οποίες περιλαμβάνει ένα νοικοκυριό (τηλεοράσεις, πλυντήριο κ.α.)

Όλες τις ημέρες, κατά μέσο όρο σε όλο το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου θα παραμένουν 4 άτομα στο χώρο (της οικογένειας). Ο φωτισμός τις απογευματινές ώρες παραμένει διαρκώς σε λειτουργία, αλλά επειδή υποτίθεται πως είναι χαμηλής κατανάλωσης⁶ δε συμβάλει πολύ στα εσωτερικά θερμικά κέρδη, ενώ οι υπόλοιπες συσκευές θα είναι συνολικής ισχύος περίπου 300W.

Άρα, επειδή πρόκειται για κατοικία, το συνολικό θερμικό φορτίο (συσκευές + θερμότητα από ενοίκους) θα είναι περί τα 0,6 kW κατά τη διάρκεια της ημέρας και το βράδυ θα καταστέλλεται η λειτουργία του μεγαλύτερου μέρους των συσκευών (εξαίρεση αποτελεί το ψυγείο με περίπου 100 W) και το συνολικό φορτίο θα είναι περίπου 0,3 kW. Φυσικά, κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας, υπάρχει περίπτωση τα συνολικά εσωτερικά κέρδη να αυξηθούν ή να μειωθούν, όπως εύλογα

⁵ Σημειώσεις μαθήματος 'Θέρμανση - Ψύξη - Κλιματισμός', Κωνσταντίνος Παπακώστας, Πίνακας 18

⁶ Θα ήταν ουτοπικό να τοποθετηθεί υβριδικό σύστημα κλιματισμού πριν γίνει προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας.

μπορεί κάποιος να παρατηρήσει με απλούς υπολογισμούς. Παρόλα αυτά, οι συγκεκριμένες τιμές είναι αντιπροσωπευτικές και αποτελούν στατιστικά μέσες τιμές.

Σκιασμός ζώνης

Ο σκιασμός της θερμικής ζώνης, όπως υπεισέρχεται στα δεδομένα της προσομοίωσης, διακρίνεται

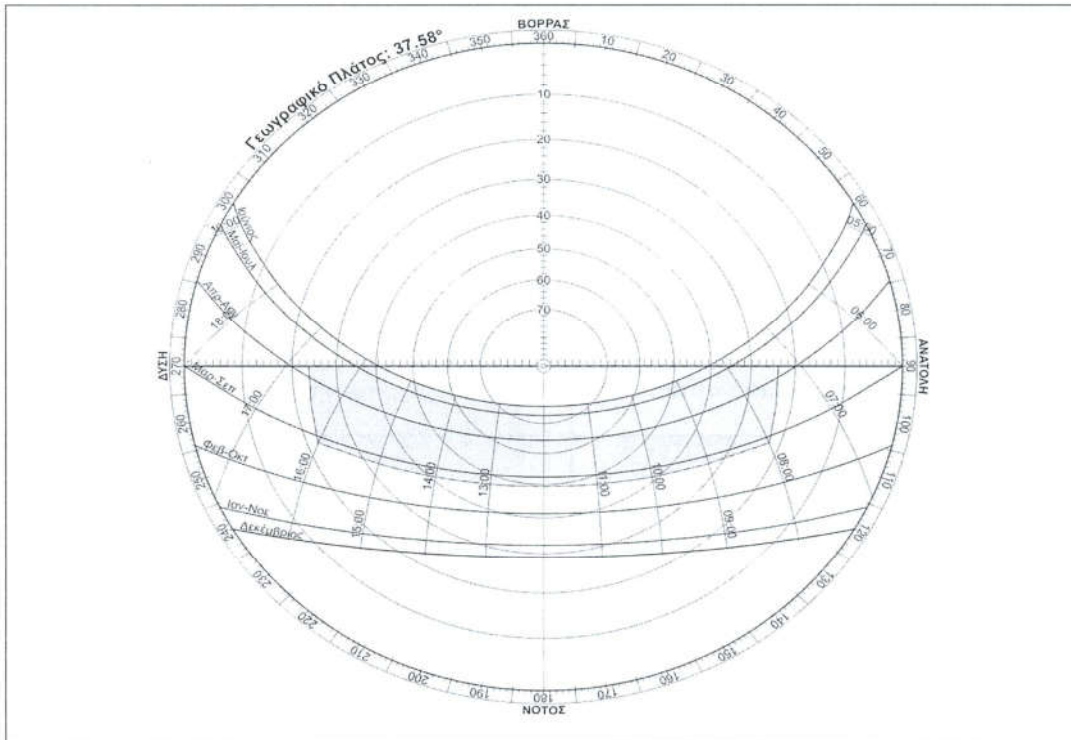
- Στο σκιασμό από σταθερά στοιχεία του κελύφους (οριζόντια ή κατακόρυφα πετάσματα) και
- Στο σκιασμό των υαλοστασίων των ανοιγμάτων (εσωτερικά ή εξωτερικά κινητά στοιχεία, ανακλαστικά υαλοστάσια κ.α).

Στο υπόψιν κτίριο, ο προσανατολισμός του κτιρίου είναι νότιος και αυτό είναι μια βασική αρχή της ενεργειακής στρατηγικής στα κτίρια. Στη νότια όψη (εμπρόσθια) υπάρχει ένας πρόβολος που σκιάζει τη νότια επιφάνεια τους καλοκαιρινούς μήνες. Η τοποθέτηση του προβόλου δεν είναι τυχαία και υπολογίζεται το μήκος του από το διάγραμμα θέσης ηλίου.

Αυτό το διάγραμμα επιτρέπει στον χρήστη να εξετάσει για συγκεκριμένο μήκος προβόλου ποιες είναι οι ώρες ετησίως που θα σκιάζεται ένα άνοιγμα (παράθυρο) της εξεταζόμενης επιφάνειας. Το εν λόγω διάγραμμα παρουσιάζεται παρακάτω και σχολιάζεται εν συνεχεία.

Το συγκεκριμένο διάγραμμα θέσης του ήλιου απεικονίζει τη νότια όψη του κτιρίου, αφού σε αυτή την πλευρά θα τοποθετηθεί ο πρόβολος. Με κατάλληλες πράξεις γεωμετρίας υπολογίζονται οι γωνίες πρόσπτωσης των ακτινών του ήλιου στο παράθυρο και οι γωνίες αυτές σημειώνονται στο διάγραμμα. Έπειτα, σκιαγραφώντας το τμήμα που βρίσκεται εντός αυτών των σημείων διαγράφεται μια περιοχή η οποία παρέχει τις ώρες που το παράθυρο αυτό θα σκιάζεται.

Είναι εμφανές πως για τους μήνες Μάρτιο – Σεπτέμβριο και για τις ώρες από 8:00 έως 16:00 τουλάχιστον, το παράθυρο θα σκιάζεται πλήρως όσον αφορά την άμεση ακτινοβολία. Μετά τις 16:00, άλλωστε, ο ήλιος βρίσκεται σε μικρό ηλιακό ύψος και ηλιάζει πλέον περισσότερο τη δυτική όψη του κτιρίου, που έχει εφοδιασθεί με κουρτίνες για αυτό το λόγο.



Σχήμα 2. Διάγραμμα θέσης ηλίου για παράθυρο της νότιας όψης του κτιρίου

Συνεπώς:

- Τα νότια ανοίγματα, τα οποία αποτελούν μικρό ποσοστό των συνολικών ανοιγμάτων, σκιάζονται εξωτερικά από την παρουσία του προβόλου του δώματος στη νότια όψη. Παρατίθεται και το σχετικό διάγραμμα θέσης ηλίου το οποίο καταδεικνύει και το σκιασμό που επιτυγχάνει ο πρόβολος, ο οποίος διακρίνεται εύκολα στα σχήματα που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενες σελίδες. Εύκολα γίνεται αντιληπτό από το συγκεκριμένο διάγραμμα ότι ο πρόβολος είναι επαρκής για το σκιασμό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.
- Τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα είναι εξοπλισμένα με κουρτίνες, οι οποίες χρησιμοποιούνται όλο το διάστημα της ημέρας και της νύχτας. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Εγχειρίδιο⁷, για εσωτερική σκίαση, η τιμή του παράγοντα ηλιακού κέρδους για διπλό υαλοπίνακα είναι περίπου 0,5. Αυτή η τιμή προκύπτει ως ο μέσος

⁷ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ σελ. 210

όρος των αναγραφόμενων διαφορετικών τύπων εσωτερικής σκίασης και συνεπώς χρησιμοποιείται για τα δυτικά και ανατολικά ανοίγματα.

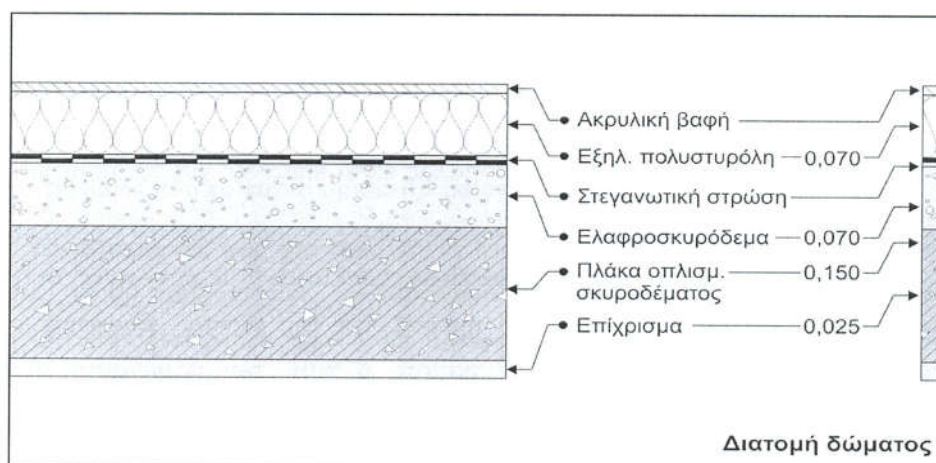
Περιγραφή αδιαφανών δομικών στοιχείων

Ως αδιαφανή δομικά στοιχεία του κελύφους θεωρήθηκαν οι εξωτερικές και εσωτερικές τοιχοποιίες πλήρωσης από πλινθοδομή, τα στοιχεία του φέροντα οργανισμού (δοκοί, υποστυλώματα και τοιχεία), το δάπεδο και η επιφάνεια του δώματος.

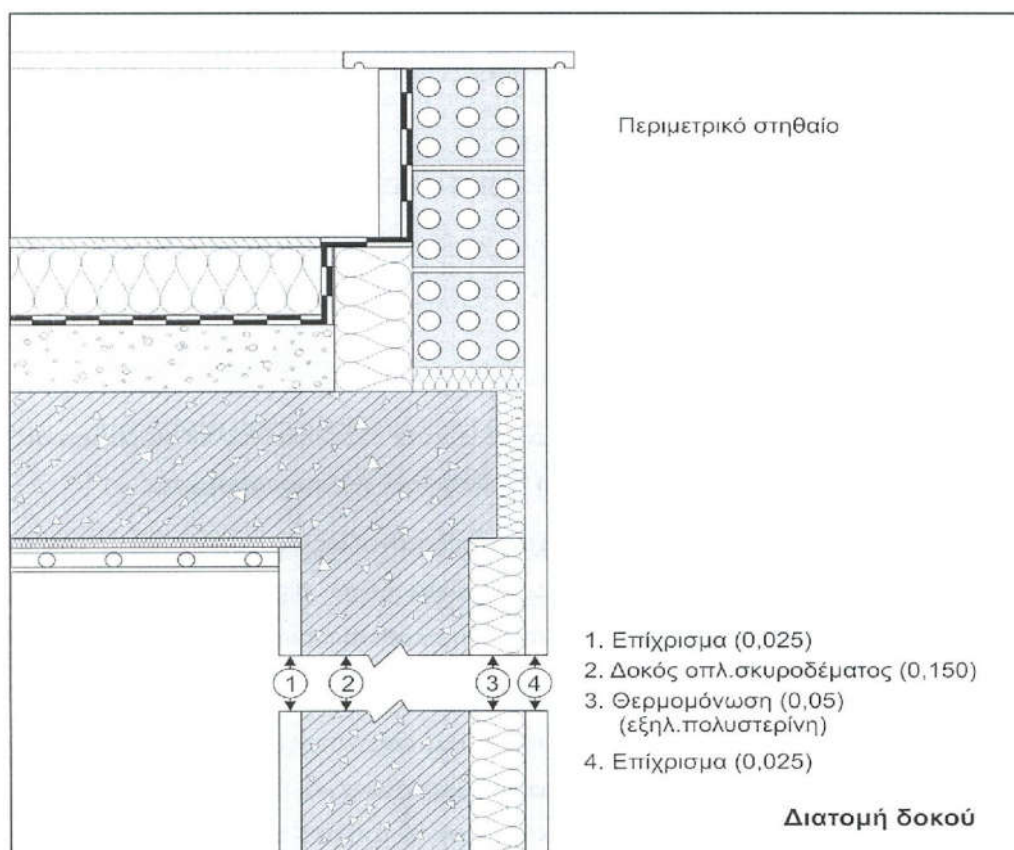
Η δομή και τα υλικά αυτών των διατομών περιγράφονται παρακάτω:



Σχήμα 3. Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας στον πυρήνα



Σχήμα 4. Θερμομόνωση αντεστραμμένου μη βατού δώματος.



Σχήμα 5. Θερμομόνωση στοιχείων φέροντα οργανισμού

Στο εσωτερικό του χώρου υπάρχει η μεσοτοιχία μεταξύ των δυο δωματίων και οι μεσοτοιχιές αυτών με τον κυρίως χώρο, καθώς και η μεσοτοιχία του WC.

Η εξωτερική επιφάνεια του κελύφους είναι τραχεία, λευκή με ποσοστό ανακλαστικότητας της τάξης του 0,7⁸.

Περιγραφή εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου

Τα στοιχεία, με τα οποία περιγράφονται οι εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου στις οποίες ανήκουν τα αδιαφανή και διαφανή στοιχεία του κελύφους, αφορούν στον προσανατολισμό, στην κλίση και στις διαστάσεις τους.

⁸ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ σελ. 210

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά περιγραφής εξωτερικών επιφανειών

α/α	Επιφάνεια	Προσανατολισμός (αζιμούθιο)	Κλίση	Ύψος (m)	Μήκος (m)	Πρόβολος
1	A	90°	90°	3	7.3	Όχι
2	Δ	270°	90°	3	7.3	Όχι
3	B	0°	90°	3	12.4	Όχι
4	N	180°	90°	3	12.4	Ναι
5	οροφή	0°	0°	7.3 (πλάτος)	12.4	Όχι

Μεταβλητές παράμετροι προσομοίωσης

Στις λειτουργίες αυτές συμπεριλαμβάνονται όλες εκείνες οι παράμετροι οι οποίες δεν παραμένουν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης

Τα εσωτερικά κέρδη έχουν διαχωριστεί μόνο ως προς το μέρος της του εικοσιτετραώρου (διαφορετικά σε ημέρα – νύχτα λόγω φωτισμού κ.α.) , ενώ τα λανθάνοντα είναι σταθερά (συνεχής και σταθερή παρουσία των ενοίκων στο χώρο).

Ο θερμοστάτης δροσισμού για την ιδεατή ζώνη θεωρείται πως χρησιμοποιείται όλη τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, για την επίτευξη της απαιτούμενης σύγκλισης τιμής. Θα αναλυθεί αργότερα η έννοια του θερμοστάτη αυτού, καθώς και θα εξεταστεί ο τρόπος καθορισμού του στο πλαίσιο της ενεργειακής προσομοίωσης.

Κλιματικά δεδομένα

Το κλίμα της περιοχής αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο για την ισχύ των αποτελεσμάτων μιας κτιριακής προσομοίωσης. Δυστυχώς, η έλλειψη κλιματικών αρχείων υποβαθμίζει συχνά την αξιοπιστία της προσομοίωσης, καθώς παρόλη την πιθανώς ακριβή δημιουργία του μοντέλου, το κλίμα της περιοχής, το οποίο εισάγεται μέσω των κλιματικών αρχείων, δεν ανταποκρίνεται πολλές φορές στις πραγματικές κλιματικές συνθήκες. Στην παρούσα μελέτη, η ύπαρξη των μετρήσεων απέκλεισε το ενδεχόμενο σφάλματος λόγω απόκλισης των κλιματικών μεγεθών, καθώς οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με κλιματικά αρχεία τα οποία αντιπροσωπεύουν την πραγματική κατάσταση (με στατιστικούς μέσους όρους δέκα ετών). Τα κλιματικά αρχεία για τις τέσσερις πόλεις του παραδείγματος, και κυρίως για τη βασική πόλη μελέτης, την Αθήνα, δόθηκαν στον γράφοντα από πανεπιστημιακή πηγή.

Τα απαραίτητα κλιματικά δεδομένα για τη λειτουργία του προγράμματος Suncode-PC, περιλαμβάνουν εντός ειδικά διαμορφωμένου αρχείου τα παρακάτω μεγέθη:

- την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$),
- την ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kJ/m^2),
- την ταχύτητα του ανέμου (m/s),
- τη θερμοκρασία σημείου σχηματισμού δρόσου ($^{\circ}\text{C}$) και
- την άμεση ακτινοβολία (Direct Normal Radiation- kJ/m^2)

Τα κλιματικά μεγέθη εισήχθησαν με χρονικό βήμα τη μια ώρα για όλο το διάστημα του έτους.

Σε ό,τι αφορά στα αποτελέσματα του SUNCODE-PC, όταν αυτά παρουσιάζονται αυτούσια στην παρούσα εργασία ισχύουν οι παρακάτω συμβατικές παραδοχές:

- Οι θετικές τιμές υποδηλώνουν κατεύθυνση της ροής θερμότητας προς το εσωτερικό του χώρου, δηλαδή αύξηση των θερμικών φορτίων του χώρου και άρα θέρμανσή του, ενώ
- Οι αρνητικές τιμές μεταφράζονται σε ενεργειακές απώλειες από το κτίριο, δηλαδή μείωση των θερμικών φορτίων του εσωτερικού χώρου.

Περιγραφή της διάταξης

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

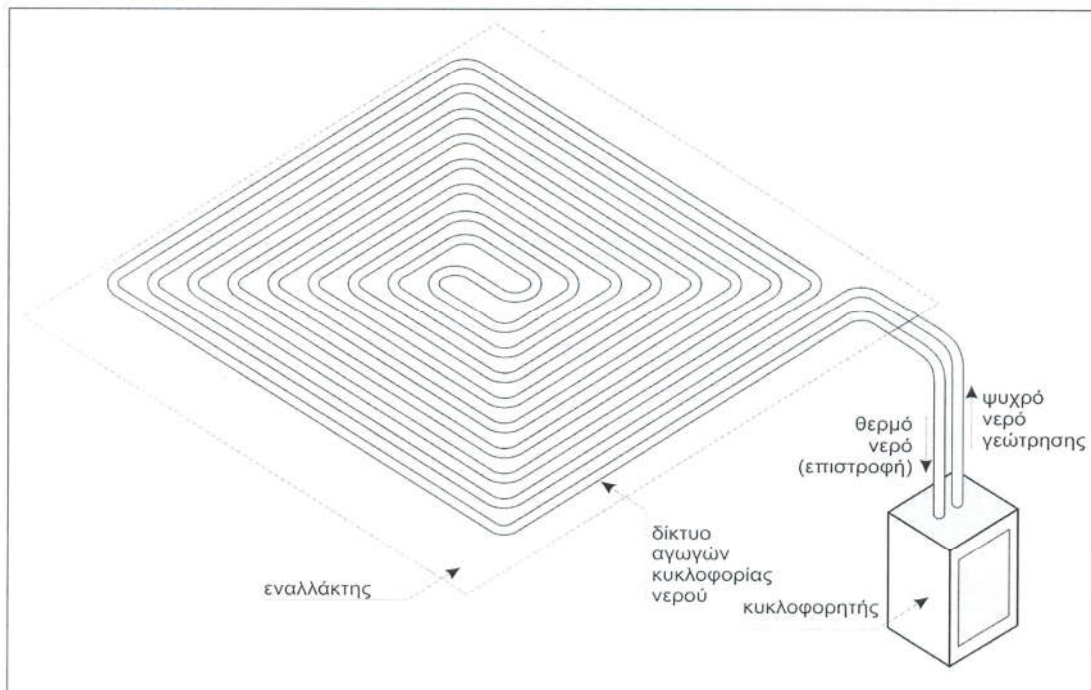
1. Περιγραφή της διάταξης	88
2. Κατασκευαστική περιγραφή του συστήματος	88
<i>A. Χώρος τοποθέτησης της αντλίας</i>	91
<i>B. Διάταξη συστήματος GWCooling στην οροφή δροσισμού</i>	92
<i>C. Απομάκρυνση του νερού</i>	99
3. Αρχή λειτουργίας του συστήματος και λειτουργική περιγραφή του	100
4. Περιγραφή του κώδικα για την προσομοίωση της διάταξης	102
<i>A. Κεντρικό περιβάλλον εργασίας εφαρμογής</i>	103
<i>B. Βασικός αλγόριθμος</i>	108
<i>C. Υπόλοιπα υποσύνολα (modules)</i>	110
5. Κατανάλωση κατοικίας με χρήση μόνο συμβατικής κλιματιστικής μονάδας.....	112
6. Περιγραφή του συνόλου του υπολογιστικού κώδικα	113

1. Περιγραφή της διάταξης

Η διάταξη του συστήματος είναι μία παράμετρος που επηρεάζει εν πολλοίς τη συμπεριφορά του κτιρίου. Η θέση που θα τοποθετηθεί, καθώς και η λειτουργία του είναι από τα πλέον σημαντικά στοιχεία. Από την άντληση του νερού έως την επαναπόθεσή του, η όλη διάταξη είναι υπεύθυνη για τη βέλτιστη αξιοποίηση της χαμηλής ενθαλπίας του ψυχρού νερού και εν συνεχεία της επιτυγχανόμενης εξοικονόμησης ενέργειας.

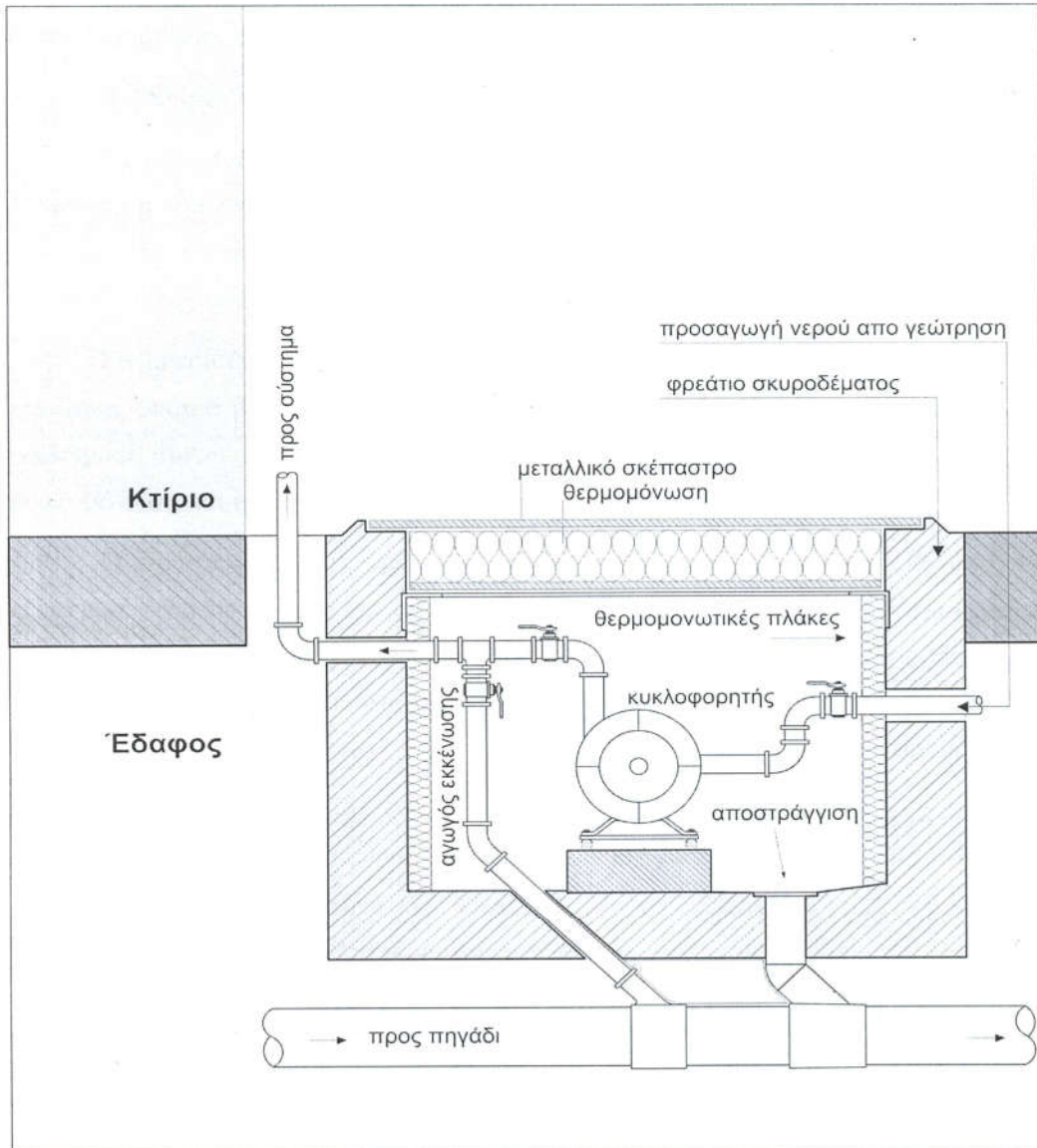
2. Κατασκευαστική περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα δροσισμού με χρήση υπόγειων υδάτων που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, αποτελείται από τρία κύρια τμήματα-διατάξεις: α) το τμήμα του κυκλοφορητή, το οποίο αναλαμβάνει τη μεταφορά του ψυχρού νερού εντός του εναλλάκτη και την απόρριψη του θερμασμένου νερού σε κάποιο αποδέκτη β) τον εναλλάκτη με το δίκτυο κυκλοφορίας του νερού γ) την απόρριψη του χρησιμοποιημένου «θερμού» νερού

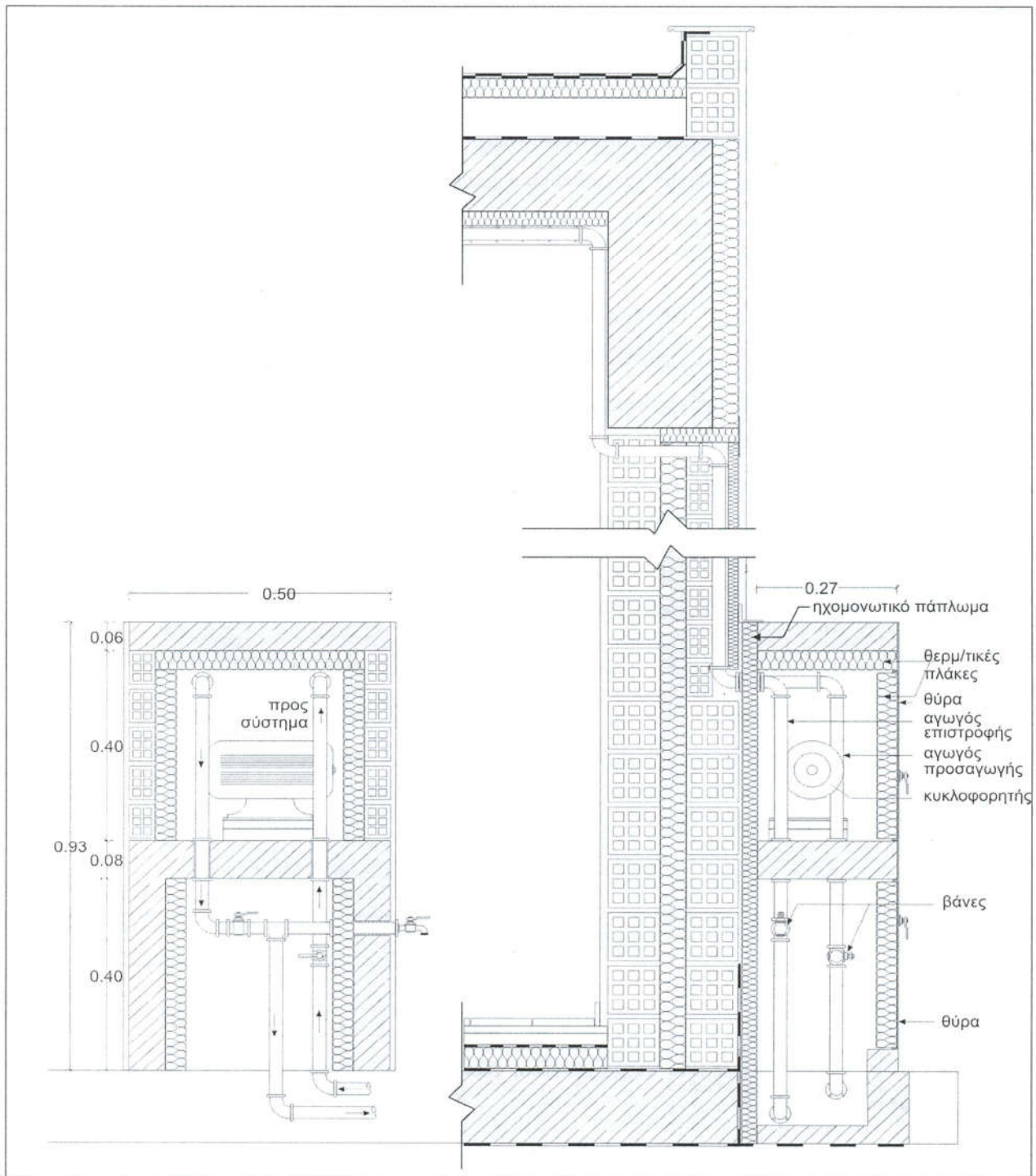


Σχήμα 1. Λειτουργική αναπαράσταση του συστήματος GWCooling,

Η διάταξη θα ξεκινάει με μία κατασκευαστική λύση τοποθέτησης του κυκλοφορητή εντός του εδάφους (Σχήμα 2) ή εκτός (Σχήμα 3).



Σχήμα 2. Ενδεικτική κατασκευαστική λύση για την τοποθέτηση του κυκλοφορητή εντός του εδάφους



Σχήμα 3. Ενδεικτική κατασκευαστική λύση για την τοποθέτηση του κυκλοφορητή στο κέλυφος του κτιρίου

Εν συνεχεία, ο αγωγός προσαγωγής του νερού θα εισέρχεται στο κτίριο και θα διατρέχει με τη μέθοδο του μαιάνδρου την επιφάνεια της οροφής. Ο αγωγός επιστροφής, θα εξέρχεται από το κτίριο και θα αποθηκεύει το νερό σε κάποια δεξαμενή, ή θα το απομακρύνει στο υπέδαφος ξανά.

Α. Χώρος τοποθέτησης της αντλίας

Τα σχήματα που προηγήθηκαν δείχνουν δύο κατασκευαστικές λύσεις για την τοποθέτηση του κυκλοφορητή. Η μία παρουσιάζει ένα φρεάτιο στο έδαφος έξω από τον χώρο της κατοικίας και η άλλη ένα χτιστό κουβούκλιο για την θερμομόνωση και ηχομόνωση της αντλίας.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο σχήμα βλέπουμε μια ολοκληρωμένη λύση στο υπέδαφος όπου ο βασικός σκελετός του χώρου είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα, και εσωτερικά αυτού τοποθετείται η μόνωση. Η μόνωση αυτή αποτελεί ταυτόχρονα θερμομόνωση και ηχοπροστασία.

Ο πρωταρχικός της ρόλος είναι να προστατεύσει την αντλία από τις εξωτερικές συνθήκες, και συγκεκριμένα από τις υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού, που πολλές φορές αγγίζουν και ξεπερνούν τα όρια του καύσωνα. Επίσης, κατά την περίοδο του χειμώνα, η αντλία θα πρέπει να προστατευτεί από τυχόν ψύξη του νερού εντός των σωληνώσεων με αποτέλεσμα τη θραύση των τελευταίων.

Επιπροσθέτως, η μόνωση θα πρέπει να ελαχιστοποιεί το θόρυβο λόγω της λειτουργίας του κυκλοφορητή έτσι ώστε να μην προκαλείται ηχητική όχληση των ενοίκων. Λόγω της τοποθέτησης αυτού του χώρου εντός του εδάφους, το έδαφος θα αναλάβει μερικώς την θερμο – ηχομόνωσή του. Επίσης, επειδή αυτός ο χώρος δε θα είναι κατοικήσιμος δε θα υπόκειται σε κάποιον κανονισμό θερμομόνωσης, και άρα η κατασκευή του δε θα περιορίζεται από άλλη παράμετρο πλιν του κόστους και του καταλαμβανόμενου χώρου.

Φυσικά, θα υπάρχουν οι απαραίτητες βάνες ασφαλείας που θα επιτρέπουν την εκτόνωση του νερού σε περίπτωση που χρειαστεί να αδειάσει το σύστημα δροσισμού για περίπτωση επισκευής ή άλλης ανάγκης. Ο όλος χώρος θα σφραγίζεται από ένα μεταλλικό σκέπαστρο (καπάκι), το οποίο θα φέρει και τον κυριότερο όγκο της μόνωσης, δεδομένου πως οι μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές παρουσιάζονται σε σχέση με το περιβάλλον, παρά με το έδαφος.

Ο δεύτερος τύπος τοποθέτησης της αντλίας μειονεκτεί σε σχέση με τον πρώτο στο ότι δεν εκμεταλλεύεται τη μόνωση του εδάφους και πλεονεκτεί διότι δεν απαιτεί την εκσκαφή και συνεπώς αχρήστευση κάποιου χώρου εκτός της κατοικίας. Κατά τα άλλα ακολουθεί την ίδια ιδέα με την πρώτη μέθοδο τοποθέτησής της αντλίας, με την προσπάθεια αποκοπής του χώρου από το περιβάλλον και την τοποθέτηση βανών για λόγους ασφαλείας. Η μόνωση που χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης του φρεατίου, καθώς απουσιάζει πλέον η μόνωση που προσέφερε το έδαφος.

Ας τονιστεί, τέλος, πως σκοπίμως η μόνωση τοποθετείται εσωτερικά της τοιχοποιίας ή του σκυροδέματος, γιατί δεν υπάρχει νόημα στη συμμετοχή της θερμικής μάζας του τοίχου στο χώρο που βρίσκεται η αντλία. Αυτό, θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοχωρητικότητας του χώρου και συνεπώς θα μπορούσε να προσφέρει μεγαλύτερα θερμικά «κέρδη» στις σωληνώσεις και συνεπώς στο ψυχρό νερό, θερμαίνοντας το, κάτι που φυσικά είναι ανεπιθύμητο.

Β. Διάταξη συστήματος GWCooling στην οροφή δροσισμού

Το σύστημα δροσισμού εντός της κατοικίας ουσιαστικά αποτελείται από ένα μεγάλο μήκος σωληνώσεων που τοποθετείται με στερεωτικές μεθόδους στην οροφή. Μία μέθοδος είναι τα στερεωτικά καρφιά, ενώ μια άλλη είναι αυτή ενός μεταλλικού πλέγματος, πάνω στο οποίο θα τοποθετηθούν οι αγωγοί.

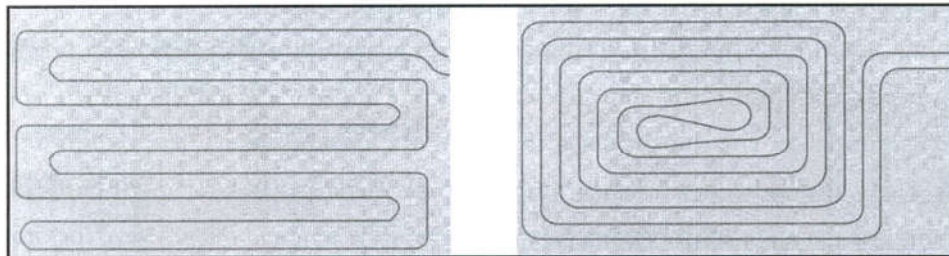
Πάνω από το σύστημα δροσισμού, και ανάμεσα σε αυτό και την οροφή, θα τοποθετηθεί μια μικρή στρώση θερμομόνωσης περίπου 1 cm για να μην υπάρχει ψύξη του σκυροδέματος του δώματος, αφού σε αυτή την περίπτωση το νερό μέσα στους σωλήνες θα ζεσταινόταν κυρίως από την εξωτερική θερμότητα και δε θα είχε τη δυνατότητα να απορροφήσει θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο.

Οι σωληνώσεις αυτές του συστήματος, λόγω του μεγάλου βάρους που θα έχουν (υπολογίζεται ότι το σύνολο σωληνώσεων + νερού θα είναι της τάξης του ενός τόνου) θα απαιτήσουν μία ισχυρή βάση για να στηριχτούν χωρίς τον κίνδυνο πτώσης τους, και από την άλλη θα πρέπει να προσεχθεί η δυνατότητα επισκευής και συντήρησης του συστήματος, καθώς και η προσπάθεια μεγιστοποίησης της μετάδοσης θερμότητας από τον χώρο προς το σύστημα GWCooling.

Η τοποθέτηση του συστήματος στην οροφή και όχι ενδοδαπέδιως (όπως στην αντίστοιχη περίπτωση της θέρμανσης) εξηγείται λόγω του φαινομένου του θερμοσιφωνισμού¹. Έτσι, η εκμετάλλευση του δροσισμού πλαισιώνεται και από παράλληλη εκμετάλλευση ενός ακόμα φαινομένου, της φυσικής συναγωγής λόγω ανωστικών ρευμάτων, που όμως σε καμιά περίπτωση δεν προκαλεί προβλήματα έντονης αίσθησης ψύχους και αυξημένης ταχύτητας ρευμάτων, όπως συμβαίνει στα κοινά κλιματιστικά. Αυτό, φυσικά, αυξάνει και την άνεση του χώρου.

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για τη χωροθέτηση των σωληνώσεων θα πρέπει να επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη δυνατή ομοιομορφία της θερμοκρασίας στο σύνολο της κάτοψης του συστήματος (επιφάνεια εναλλαγής), τη μικρότερη πτώση πίεσης εντός των αγωγών και την καλύτερη κατασκευαστικά λύση, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν όλες οι παραδοχές που έχουν γίνει, καθώς και να ευνοήσουν την ανάπτυξη αυτής της τεχνικής.

Η ομοιομορφία της θερμοκρασίας επιλέγεται λόγω της υπόθεσης πως η μετάδοση θερμότητας γίνεται στη μέση θερμοκρασία του νερού που ρέει εντός των αγωγών (T_{bulk}). Οι περιπτώσεις που ικανοποιούν αυτήν την υπόθεση είναι οι παρακάτω, αλλά μόνο η δεξιά μορφή (μαϊανδρος) ικανοποιεί τη μέση θερμοκρασία σε όλο το εύρος της κάτοψης.

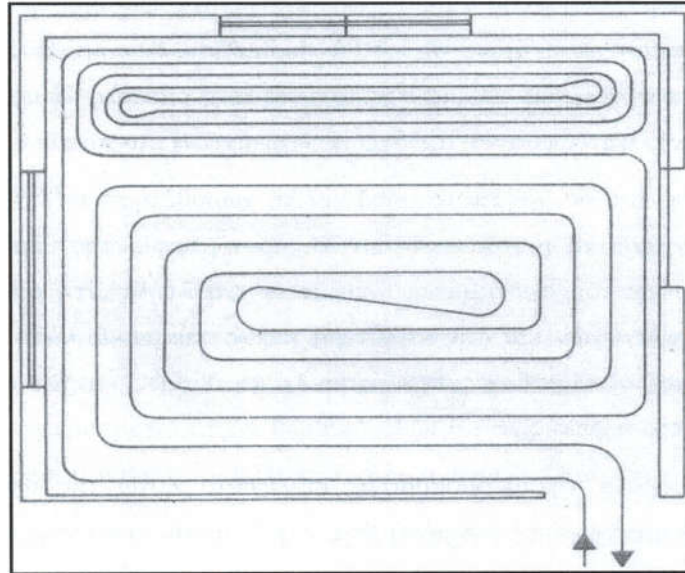


Σχήμα 4. Τυπικές μέθοδοι τοποθέτησης σωληνώσεων στην ενδοδαπέδια θέρμανση

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να διευκρινιστεί, ως παραδοχή, πως η θερμοκρασία αυξάνει γραμμικά μέσα στις σωληνώσεις, αν και η θερμοκρασία στην πραγματικότητα αυξάνει εκθετικά. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η

¹ Θερμοσιφωνισμός είναι η κυκλοφορία μεταφοράς ενός ρευστού που πραγματοποιείται σε ένα κλειστό σύστημα όπου το θερμό ρευστό ανέρχεται και αντικαθίσταται από ψυχρότερο ρευστό του ίδιου συστήματος (ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, σελ. 224)

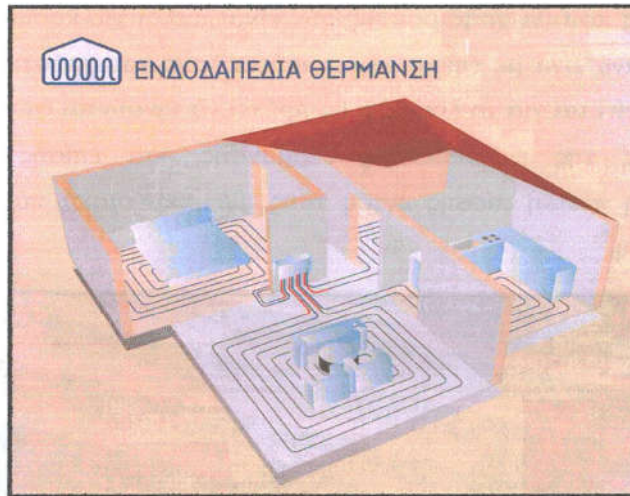
μόνη που επιτυγχάνει τη βέλτιστη ομοιομορφία θερμοκρασίας. Άλλωστε, αυτή είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος στην ενδοδαπέδια θέρμανση, και αυτή που προτάθηκε στον γράφοντα από διάφορες εταιρίες κλιματισμού για τη συγκεκριμένη τεχνική.



Σχήμα 5. Στροφή «εν σειρά». Ξεχωριστή ενισχυμένη και κύρια ζώνη σε οφιοειδή μορφή στο ίδιο κύκλωμα

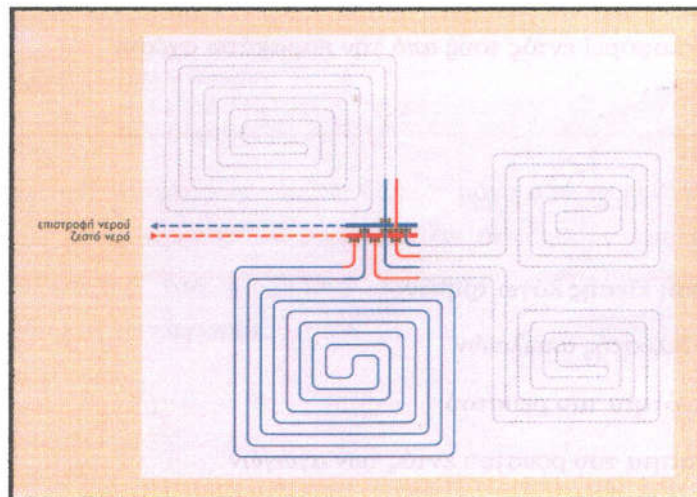
Επίσης, όπως φαίνεται και σε παρακάτω σχήματα², στην ενδοδαπέδια θέρμανση χρησιμοποιούνται μικρότεροι βρόχοι μαιάνδρου που έχουν ως αφετηρία και ως πέρας έναν συλλέκτη, σε κάποιο κεντρικό σημείο του κτιρίου. Αυτό αυξάνει ακόμα περισσότερο την άποψη ότι η θεώρηση της ομοιόμορφης θερμοκρασίας είναι σωστή. Κάτι παρόμοιο προτείνεται και για το εν λόγω κτίριο. Ως μόνη διαφορά, θα μπορούσε να είναι η μεγαλύτερη κυκλικότητα των σωληνώσεων, γεγονός που θα μείωνε ακόμα περισσότερο την πτώση πίεσης.

² Συστήματα θέρμανσης - Ψύξης ΤΕΜΠΑ, διαφημιστικό φυλλάδιο από το υποκατάστημα της Θεσσαλονίκης στην οδό Κατερίνης 4



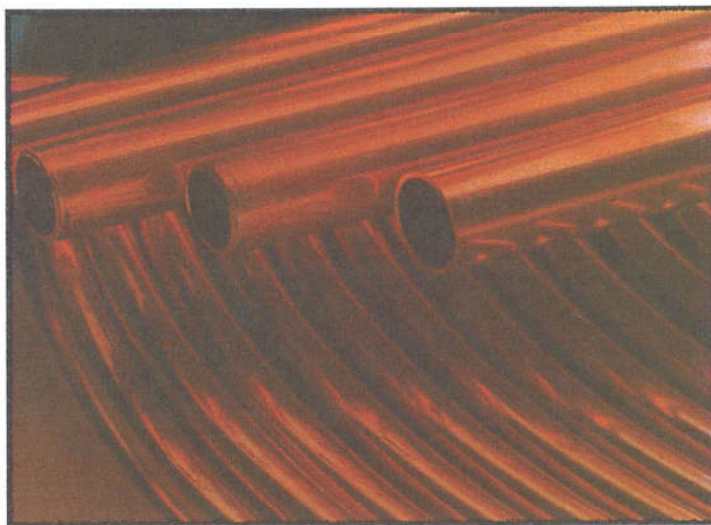
Σχήμα 6. Τοποθέτηση συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης σε κατοικία υπό μορφή μαιάνδρων

Γενικότερα, στην ενδοδαπέδια θέρμανση υπάρχει ο περιορισμός των αυλακώσεων που δημιουργούνται από τις μονωτικές πλάκες που τοποθετούνται κάτω από τις σωληνώσεις. Αυτός ο περιορισμός, φυσικά, δεν ισχύει στο σύστημα GWCooling, αφού οι σωληνώσεις σε αυτήν την τεχνική δροσίσιμου τοποθετούνται απευθείας στην οροφή και δεν υποχρεούνται σε κάποιο είδος οδήγησης σε απότομες γωνίες, που ως γνωστόν, αυξάνει κατακόρυφα το μανομετρικό ύψος που θα πρέπει να καλύψει ο κυκλοφορητής.



Σχήμα 7. Πολλαπλοί μαιάνδροι που συνθέτουν το σύνολο της κάτοψης της κατοικίας

Οι σωλήνες που θα χρησιμοποιηθούν είναι απλοί χαλκοσωλήνες διαμέτρων από 2 έως 5 cm, ανάλογα με την παραμετρική επιλογή του χρήστη. Η επιλογή των διαμέτρων αυτών γίνεται για το λόγο ότι θα πρέπει να κινούνται στα ίδια πρότυπα με τους αντίστοιχους της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, και επίσης θα πρέπει να ελαχιστοποιείται η πτώση πίεσης εντός τους, με οικονομικά πάντα κριτήρια να λαμβάνονται υπόψη.



Σχήμα 8. Τυπικοί χαλκοσωλήνες

Η πτώση πίεσης που θα παρατηρείται στο σύνολο των σωληνώσεων υπολογίζεται σχετικά με το μήκος και το είδος τους, καθώς και από το είδος του ρευστού που κυκλοφορεί εντός τους από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta P_f = k \cdot \frac{\rho}{2} \cdot u^2 \quad (1)$$

όπου

ΔP_f : Η πτώση πίεσης λόγω τριβών

k : Ο συντελεστής απωλειών

ρ : Η πυκνότητα του ρευστού

u : Η ταχύτητα του ρευστού εντός των αγωγών

Όμως, ο συντελεστής απωλειών για πλήρως ανεπτυγμένη ροή δίνεται από τον τύπο

$$k = f \cdot \frac{L}{D} \quad (2)$$

όπου

- f : Ο συντελεστής f
- L : Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων
- D : Η διάμετρος των σωληνώσεων

Το διάγραμμα Moody³ δίνει το συντελεστή f για ροή ρευστού εντός αγωγού συναρτήσει του αριθμού Reynolds, της διαμέτρου του αγωγού D και της τραχύτητας e. Το εν λόγω διάγραμμα περιγράφεται από την παρακάτω σχέση, που δίνεται και στο σύγγραμμα που βρίσκεται και το διάγραμμα:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3)$$

όπου

- f : Ο συντελεστής f
- Re : Ο αριθμός Reynolds
- e : Η τραχύτητα του αγωγού
- D : Η διάμετρος των σωληνώσεων

Ως παραδοχή, η πτώση πίεσης θα δίνεται μόνο από τα ευθύγραμμα τμήματα, ενώ οι απώλειες λόγω τοπικών αντιστάσεων θα θεωρηθούν αμελητέες, λόγω της μεγάλης καμπυλότητας του μαιάνδρου και της μεγάλης πτώσης πίεσης που οφείλονται στο μήκος των αγωγών.

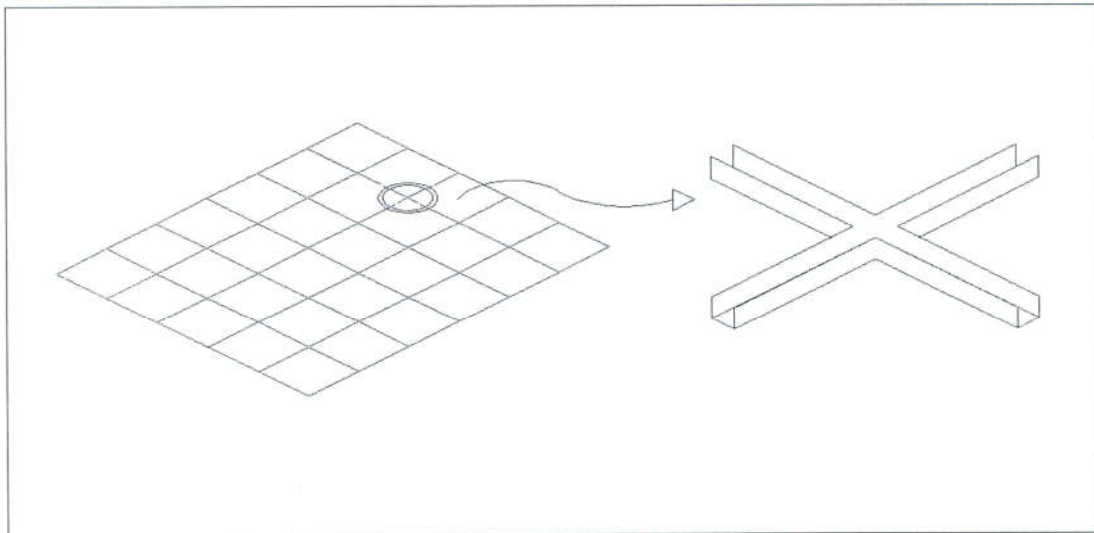
³ Μηχανική ρευστών, Απόστολος Γούλας, σελ.213 – 217

Ο κώδικας, έχει ως υπορουτίνα και τον υπολογισμό του συντελεστή f , καθώς και τη συνολική πτώση πίεσης ως μανομετρικού ύψους. Ο αναγνώστης θα πρέπει να προϋδεαστεί για την τάξη της τιμής της πτώσης πίεσης, αφού μια τυπική τιμή του μήκους των σωληνώσεων είναι τα 1000 m. Βέβαια, η εν λόγω τιμή μπορεί να μειωθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των σωληνώσεων. Εν πάση περιπτώσει, στην τελική σελίδα των αποτελεσμάτων στο φύλλο του Excel θα δίνεται και το μανομετρικό ύψος που θα πρέπει να υπερνικηθεί από τον κυκλοφορητή, καθώς και η παροχή που θα πρέπει να παράσχει ο κυκλοφορητής θα δίνεται στον τίτλο του φύλλου του Excel ως παράμετρος.

Ως κατασκευαστική ιδέα για την αντιμετώπιση τυχούσας συμπύκνωσης υδρατμών στην εξωτερική επιφάνεια των σωληνώσεων μπορεί να προταθεί η προσθήκη ενός μεταλλικού καλύμματος κάτω από τους αγωγούς και σε ορισμένη απόσταση από αυτούς, έτσι ώστε, με κατάλληλη διαμόρφωση, οι υδρατμοί να συλλέγονται και με αγωγούς να οδηγούνται στην αποχέτευση ή στο εξωτερικό περιβάλλον.

Η εν λόγω επιφάνεια θα πρέπει να είναι από υλικό μεγάλου συντελεστή θερμοπερατότητας και μικρής θερμοχωρητικότητας, έτσι ώστε να μην επηρεάζει την ορθή λειτουργία της απορρόφησης θερμότητας. Δύο υλικά που προτείνονται είναι ο χαλκός με $\lambda = 200$ (W / m K) και $c_p = 413$ (J / Kg K), καθώς και το αλουμίνιο με $\lambda = 160$ (W / m K) και $c_p = 896$ (J / Kg K). Εν συγκρίσει με πλαστικά πλακίδια, που έχουν $\lambda = 0,5$ (W / m K) και $c_p = 1070$ (J / Kg K), μπορεί κανείς να διακρίνει την ελαχιστοποίηση των πλακών αυτών στη θερμική συμπεριφορά του συστήματος.

Το κάλυμμα αυτό προτείνεται να διαιρείται σε μικρές τετραγωνικές επιφάνειες για την εύκολη τοποθέτηση και αφαίρεσή τους σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής του συστήματος. Τα μικρά μεταλλικά πλακίδια, θα μπορούν να διαχωρίζονται με πλαστικά ή μεταλλικά δικτυώματα διατομής ανάστροφου Π:



Σχήμα 9. Μορφή διαχωριστικού πλέγματος και λεπτομέρεια για την καλύτερη άποψη της διατομής του ως ανάποδο Π για τη συλλογή και απομάκρυνση του συμπυκνώματος των υδρατμών

Η κατασκευαστική λύση που μόλις προτάθηκε είναι αρκετά πρώιμη και χρίζει βελτίωσης. Αναφέρεται, παρόλα αυτά, ως ιδέα συμπλήρωσης μιας ήδη πρωτότυπης μελέτης και θα πρέπει να αξιολογηθεί ως τέτοια, αναζητώντας παράλληλα μια βελτιωτική λύση για να ξεπεραστούν τα τυχόν μειονεκτήματα που θα προκύψουν.

C. Απομάκρυνση του νερού

Ως απομάκρυνση του νερού νοείται η διαχείριση του νερού που έχει κυκλοφορήσει στις σωληνώσεις και έχει παραλάβει το μέγιστο ποσό θερμότητας για το οποίο έχει σχεδιαστεί. Λόγω της αυξημένης ανησυχίας για περιβαλλοντικά θέματα, και ακολουθώντας τη βασική ιδέα του συστήματος GWCooling που προάγει την εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς την προστασία του περιβάλλοντος, η αξιοποίηση των υδάτων αυτών θα πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή και προνοητικότητα.

Μια από τις βασικές παραδοχές της εργασίας είναι ότι η γεώτρηση προϋπάρχει και αυτό παραπέμπει απευθείας σε αγροτική χρήση. Συνεπώς, το νερό που, ούτως ή άλλως, αντλείται, θα χρησιμοποιείται ετεροχρονισμένα για την άρδευση καλλιεργειών συγγενικών της κατοικίας, ή ακόμα και για οικιακή χρήση, αφού δε θα έχει υποστεί αλλοίωση μέσω της αύξησης της ενθαλπίας του. Άρα, η πρώτη

κατασκευαστική λύση θα είναι η κατασκευή μιας αρκετά μεγάλης δεξαμενής, μέσα στην οποία θα υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης όλου, ή μέρους, του νερού που θα χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος δροσισμού. Αυτή η ποσότητα θα είναι της τάξης του ενός τόνου ανά ώρα λειτουργίας. Ως ποσότητα μπορεί να φαντάζει υπερβολική, αλλά αξίζει κανείς να αντιληφθεί την ποσότητα που χρησιμοποιείται για αγροτικές καλλιέργειες για να κατανοήσει τη δυνατότητα αυτή.

Μια δεύτερη δυνατότητα διαχείρισης των υπογείων αυτών υδάτων είναι και η επιστροφή του μέσω ενός κυκλώματος σε ένα πηγάδι που βρίσκεται κοντά στο υπόψιν κτίριο. Έτσι, δε διαταράσσεται ο κύκλος του νερού και δεν προκαλείται αποσάθρωση του εδάφους. Άλλωστε, σε πολλές χώρες ισχύει νομοθεσία σύμφωνα με την οποία η όποια εκμετάλλευση των υπογείων υδάτων προβλέπει και την επανεισαγωγή του νερού στο υπέδαφος, και μάλιστα σε μέρος κοντινό με εκείνο που έγινε η γεώτρηση. Με αυτόν τον τρόπο κλείνει ένας βρόχος υπεδάφους – γεώτρησης – συστήματος GWCooling – πηγαδιού – υπεδάφους.

Μία ιδέα, τέλος, αρκετά πρωτοποριακή, θα μπορούσε να είναι η εισαγωγή του νερού στο σύστημα ύδρευσης της περιοχής, αφού προηγουμένως αυτό έχει υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία (χλωρίωση, φιλτράρισμα). Μια ιδέα που σαφώς δεν έχει την τεκμηρίωση που απαιτείται για να σταθεί επιστημονικά, αφού είναι εκτός αντικειμένου της παρούσης μελέτης.

3. Αρχή λειτουργίας του συστήματος και λειτουργική περιγραφή του

Το σύστημα δροσισμού GWCooling έχει ως στόχο την απορρόφηση θερμότητας από τον υποκάτω χώρο και αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία. Οι δύο κύριες αυτές μορφές μετάδοσης θερμότητας επιδρούν διαφορετικά στο δροσισμό του χώρου.

Έτσι, η συναγωγή λαμβάνει χώρα λόγω του θερμοσιφωνισμού που προκαλείται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ συστήματος και υπόλοιπων επιφανειών εντός του χώρου. Αυτή η θερμοκρασιακή πτώση προκαλεί τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ του αέρα στο επάνω μέρος του χώρου, κοντά στο σύστημα GWCooling, και του υπόλοιπου αέρα του χώρου, και συνεπώς ο τελευταίος είναι ελαφρύτερος από τον πρώτο, γεγονός που αναγκάζει την άνωση και συνεπακόλουθα τη συνεχή εναλλαγή μεταξύ τους.

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία λαμβάνει χώρα επειδή η ψυχρή επιφάνεια (του συστήματος) απορροφά ενέργεια από τα θερμότερα, κατά κανόνα, σώματα του χώρου. Μάλιστα, από βασικές αρχές της μετάδοσης θερμότητας αποδεικνύεται ότι η ροή θερμότητας εξαρτάται από τη διαφορά των τετάρτων δυνάμεων των θερμοκρασιών των εκάστοτε σωμάτων. Άρα, η θερμική αίσθηση που θα έχει ο άνθρωπος θα εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του συστήματος δροσισμού, και αυτό ερμηνεύεται από τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης⁴, όπου υπεισέρχεται η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.

Το νερό, λοιπόν, αναλαμβάνει το ρόλο ενός κλιματιστικού ισχύος ίσης με:

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4)$$

όπου

P : Η ισχύς του συστήματος GWCooling

\dot{m} : Η ροή μάζας του νερού

c_p : Η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού

ΔT : Η ωριαία θερμοκρασιακή διαφορά μέσης θερμοκρασίας του νερού και θερμοκρασίας του χώρου, δεδομένης της σταθερότητας του φαινομένου σε ωριαίο επίπεδο

Λόγω του ωριαίου υπολογισμού της θερμοκρασιακής διαφοράς, η ισχύς αυτού του «κλιματιστικού» θα υπολογίζεται για κάθε ώρα.

Γενικότερα, ο τρόπος που το σύστημα μεταβάλλεται συναρτήσει της μεταβολής κάποιου μεγέθους του δίνεται σε επόμενο κεφάλαιο. Ο κώδικας αναλαμβάνει να υπολογίσει την όλη διεργασία ξεκινώντας από μια δεδομένη κατάσταση και συγκλίνοντας επανειλημμένα σε μια τιμή θερμοκρασίας.

Η γενική φιλοσοφία που ακολουθείται από το συζευγμένο μοντέλο (GWCooling και SUNCODE-PC) είναι:

1. Αρχικά, δίνεται μια σταθερή θερμοκρασία στο νερό εντός του συστήματος και εκτελείται μια δοκιμαστική προσομοίωση για να

⁴ Ο υπολογισμός των δεικτών θερμικής άνεσης PMV και PPD γίνεται αυτομάτως από τον κώδικα. Ο ορισμός τους γίνεται στο κεφάλαιο της θερμικής άνεσης.

βρεθούν οι ώρες κατά τις οποίες απαιτείται να λειτουργήσει το σύστημα. Από τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης αξιοποιείται επίσης η θερμοκρασία του χώρου. (Η τιμή θα χρησιμοποιηθεί στον επαναληπτικό αλγόριθμο που θα ακολουθήσει αυτή τη δοκιμαστική προσομοίωση)

2. Γνωρίζοντας και τη θερμοκρασία εισόδου, μπορεί σε αυτό το στάδιο να υπολογιστεί η μέση θερμοκρασία του νερού στο σύστημα, η οποία φυσικά δεν θα παραμένει σταθερή. Έχοντας λοιπόν μια καλύτερη, πρώτη προσέγγιση της μέσης θερμοκρασίας για τη μάζα του νερού, εκτελείται ξανά μια νέα προσομοίωση, η οποία φυσικά λόγω νέων τιμών θερμοκρασίας νερού, θα δώσει διαφορετικά αποτελέσματα της θερμοκρασίας του χώρου.
3. Το προηγούμενο βήμα, επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειαστεί μέχρις ότου τα αποτελέσματα μεταξύ διαδοχικών προσομοιώσεων να ταυτίζονται (να επέρχεται σύγκλιση). Ο έλεγχος της σύγκλισης αφορά στις θερμοκρασίες εσωτερικού χώρου, για κάθε ώρα της εξεταζόμενης περιόδου. Όταν η μέση απόλυτη τιμή αυτών (μεταξύ διαδοχικών προσεγγίσεων) δεν διαφέρει πέρα από μια ορισμένη τιμή (ίση με $0,01^{\circ}\text{C}$), τότε θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί η σύγκλιση.

Ο λόγος για τον οποίο ακολουθείται η τεχνική της επανάληψης της διαδικασίας είναι ότι σε κάθε βήμα χρησιμοποιούνται μεγέθη από την προηγούμενη προσομοίωση. Όσο περισσότερο διαφέρουν αυτά από τα αντίστοιχα μεγέθη που υπολογίζονται στο τρέχον βήμα, τόσο περισσότερο ανακριβές είναι το συζευγμένο μοντέλο. Με τις διαδοχικές επαναλήψεις όμως, επέρχεται σταδιακά ορισμένη ταύτιση δεδομένων εισόδου και αποτελεσμάτων, ώστε τελικά να βελτιώνεται διαρκώς η ακρίβεια. Συνήθως, η σύγκλιση επιτυγχάνεται στα 3 έως 5 το πολύ βήματα επανάληψης.

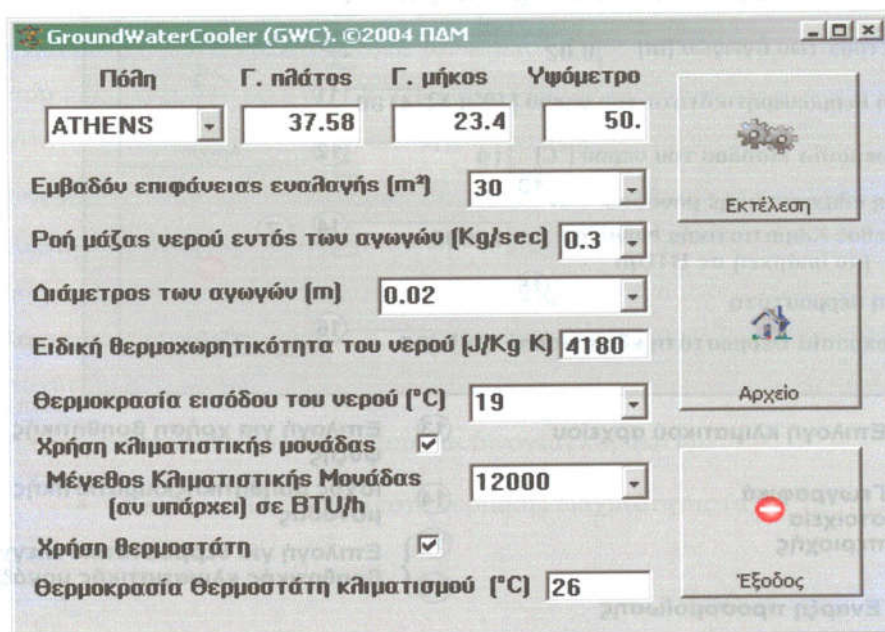
4. Περιγραφή του κώδικα για την προσομοίωση της διάταξης

Ο απαραίτητος κώδικας που αναπτύχθηκε προκειμένου να επιτευχθεί η προσομοίωση, έγινε σταδιακά και περιλαμβάνει αρκετές υπορουτίνες και υποσύνολα (modules). Έτσι, γίνεται η διάκριση μεταξύ της φόρμας εργασίας, του module του βασικού αλγόριθμου και των υπολοίπων modules. Η κάθε μια από αυτές τις ενότητες

χρίζει διαφορετικής ανάλυσης και για αυτό το λόγο η ανάλυσή τους χωρίζεται σε τρία υποκεφάλαια.

Α. Κεντρικό περιβάλλον εργασίας εφαρμογής

Λόγω της ανάπτυξης του κώδικα σε περιβάλλον Visual, κατέστη δυνατό να κατασκευασθεί μια φόρμα εργασίας (Σχήμα 10), όπου ο χρήστης θα μπορεί με μεγάλη ευκολία να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του συστήματος δροσισμού και της κλιματιστικής μονάδας, καθώς και την περιοχή όπου αυτά εγκαθίστανται. Η εφαρμογή αυτή ανοίγει με την επιλογή εκτέλεσης του προγράμματος GWCooling.exe και περιλαμβάνει την εντολή της διαμόρφωσης του αρχείου εισόδου, την εντολή της έναρξης προσομοίωσης, καθώς και ένα κουμπί για το ασφαλές κλείσιμο της εφαρμογής.



Σχήμα 10. Φόρμα εργασίας GWCooling.exe

Ακόμα, ο χρήστης μπορεί από μια λίστα με προεπιλεγμένες τιμές να ορίσει στο πρόγραμμα την πόλη διεξαγωγής της προσομοίωσης. Ορίζοντας την πόλη, ο κώδικας αναλαμβάνει να ορίσει αυτόματα το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, καθώς και το ύψος της πόλης από την επιφάνεια της θάλασσας. Με παρόμοιες λίστες, ή ακόμα και με άλλες, νέες τιμές, μπορούν να οριστούν και η επιφάνεια εναλλαγής, η

παροχή του νερού, η διάμετρος των αγωγών και η ισχύς της κλιματιστικής μονάδας. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θα χρησιμοποιηθεί βοηθητική κλιματιστική μονάδα, ή αν το σύστημα GWCooling θα λειτουργεί μόνο του.

Να σημειωθεί ότι κατά τον ορισμό της θερμοκρασίας του νερού εισαγωγής γίνεται έλεγχος και σε περίπτωση που αυτή είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του θερμοστάτη τότε εμφανίζεται σχετικό παράθυρο που ειδοποιεί το χρήστη για το εν λόγω σφάλμα.

The screenshot shows the 'GroundWaterCooler (GWC). ©2004 ΠΔΜ' window. It contains several input fields and buttons, each labeled with a circled number:

- 1: Πόλη (City) dropdown menu showing 'ATHENS'.
- 2: Γ. πλάτος (Latitude) input field with value '37.58'.
- 3: Γ. μήκος (Longitude) input field with value '23.4'.
- 4: Υψόμετρο (Elevation) input field with value '50'.
- 5: 'Εκτέλεση' (Execute) button.
- 6: 'Αρχείο' (File) button.
- 7: 'Έξοδος' (Exit) button.
- 8: Εμβαδόν επιφάνειας εναλλαγής (m²) input field with value '30'.
- 9: Ροή μάζας νερού εντός των αγωγών (Kg/sec) input field with value '0.3'.
- 10: Διάμετρος των αγωγών (m) input field with value '0.02'.
- 11: Ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού (J/Kg K) input field with value '4180'.
- 12: Θερμοκρασία εισόδου του νερού (°C) input field with value '19'.
- 13: Checkmark for 'Χρήση κλιματιστικής μονάδας' (Use air conditioning unit).
- 14: Μέγεθος Κλιματιστικής Μονάδας (αν υπάρχει) σε BTU/h input field with value '12000'.
- 15: Checkmark for 'Χρήση θερμοστάτη' (Use thermostat).
- 16: Θερμοκρασία θερμοστάτη κλιματισμού (°C) input field with value '26'.

Legend for the numbered callouts:

- 1: Επιλογή κλιματικού αρχείου
- 2, 3, 4: Γεωγραφικά στοιχεία περιοχής
- 5: Έναρξη προσομοίωσης
- 6: Επεξεργασία αρχείου εισόδου σε SUNCODE-PC
- 7: Έξοδος από το πρόγραμμα
- 8-12: Παράμετροι συστήματος GWCooler
- 13: Επιλογή για χρήση βοηθητικής ψύξης
- 14: Ισχύς βοηθητικής κλιματιστικής μονάδας
- 15, 16: Επιλογή για θερμοστατικό έλεγχο βοηθητικής κλιματιστικής μονάδας

Σχήμα 11. Ανάλυση των επιμέρους τμημάτων της φόρμας εργασίας

Ακόμη, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θα χρησιμοποιηθεί κάποιος θερμοστάτης κλιματισμού, ή το σύστημα θα λειτουργεί συνεχώς. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα GWCooling λειτουργεί και ως συσκευή διατήρησης της θερμοκρασίας εντός κάποιων ορίων, θα εξομαλύνει δηλαδή τις μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, ακόμα και αν πρόκειται να «θερμάνει» ουσιαστικά το χώρο. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα, άλλωστε, του συστήματος GWCooling που θα αναλυθεί σε άλλο κεφάλαιο. Αν επιλεγεί η μη χρήση θερμοστάτη, το σύστημα GWCooling θα λειτουργεί χωρίς τη χρήση βοηθητικής κλιματιστικής μονάδας.

Τέλος, ο θερμοστάτης κλιματισμού μπορεί να αλλάζει κατά βούληση, έτσι ώστε να οριστούν οι επιθυμητές συνθήκες κλιματισμού για την επίτευξη της θερμικής άνεσης.

Έπειτα από τον ορισμό των δεδομένων, και με την επιλογή εκτέλεσης της προσομοίωσης, σειρά έχουν οι υπολογισμοί για διάφορα μεγέθη του συστήματος που δεν ορίζονται απ' ευθείας στη φόρμα, αλλά υπολογίζονται εμμέσως. Τέτοια είναι η ισχύς του κλιματιστικού σε kW, ο διαχωρισμός του θερμοστάτη κλιματισμού και του θερμοστάτη δροσισμού, καθώς και ο έλεγχος στρωτής ή τυρβώδους ροής.

Αυτός ο έλεγχος ακολουθεί ολόκληρη τη διαδικασία υπολογισμού του συντελεστή θερμότητας εξαναγκασμένης συναγωγής για εσωτερική ροή εντός αγωγού μεγάλου μήκους⁵. Υπολογίζονται οι αριθμοί Reynolds, Prandtl και Nusselt και όλα τα μεγέθη που απαιτούνται, όπως ο συντελεστής θερμικής διαχυτότητας (α) και η ταχύτητα του νερού.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται δίνονται παρακάτω:

- Υπολογισμός συντελεστή θερμικής διαχυτότητας (α)⁶

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad (5)$$

όπου

⁵ Σημειώσεις Μετάδοσης Θερμότητας, Δρ Ιωάννης Μπάρτζης, 4^ο εξάμηνο του τμήματος

⁶ Τυπολόγιο στη Θερμική Αγωγή, Μετάδοσης Θερμότητας, 4^ο εξάμηνο του τμήματος

- α : Ο συντελεστής θερμικής διαχυτότητας του νερού
 λ : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του νερού
 ρ : Η πυκνότητα του νερού
 c_p : Η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού
- Υπολογισμός αριθμού Prandtl

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (6)$$

όπου

- ν : Το κινηματικό ιξώδες του νερού
- Υπολογισμός ταχύτητας του νερού εντός των σωληνώσεων

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} \quad (7)$$

όπου

- u : Η ταχύτητα του νερού εντός των σωληνώσεων
 \dot{m} : Η παροχή μάζας του νερού
 ρ : Η πυκνότητα του νερού
 d : Η διάμετρος των σωληνώσεων
- Υπολογισμός του αριθμού Reynolds της ροής

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (8)$$

όπου

- Re : Ο αδιάστατος αριθμός Reynolds

Στη συνέχεια, διαχωρίζεται η στρωτή από την τυρβώδη ροή σύμφωνα με την κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds (=2300) και ανάλογα υπολογίζεται ο συντελεστής συναγωγής.

- Στρωτή ροή

$$h = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (9)$$

όπου

Nu : Ο αριθμός Nusselt, ο οποίος για στρωτή ροή είναι σταθερός και ίσος με 3.66

h : Ο συντελεστής εξαναγκασμένης συναγωγής της στρωτής ροής

- Τυρβώδης ροή

Καταρχήν γίνεται υπολογισμός του αριθμού Nusselt

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3} \quad (10)$$

όπου

Nu : Ο αδιάστατος αριθμός Nusselt

και εν συνεχεία, υπολογίζεται ο συντελεστής συναγωγής:

$$h = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (11)$$

όπου

h : Ο συντελεστής εξαναγκασμένης συναγωγής της τυρβώδους ροής

Έτσι, υπολογίζεται ο συντελεστής συναγωγής για το σύστημα GWCooling ο οποίος σε μεγάλο ποσοστό αντιπροσωπεύει τυρβώδη ροή. Εν συνεχεία, ο κώδικας διενεργεί μια «αναγνωριστική» προσομοίωση στο κτίριο χωρίς τη λειτουργία του κλιματιστικού ή του συστήματος GWCooling έτσι ώστε να βρεθούν πόσες και ποιες ώρες θα πρέπει να λειτουργεί το σύστημα δροσισμού. Έπειτα, αρχίζει η προσομοίωση, που πλέον περιλαμβάνει και τα συστήματα δροσισμού και κλιματισμού, ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη. Η προσομοίωση τελειώνει όταν επιτευχθεί μια συγκεκριμένη σύγκλιση που ορίζεται επίσης σε αυτό το σημείο της εφαρμογής και ελέγχεται η πρόοδός της σε κάθε βήμα. Η προσομοίωση γίνεται στην ουσία σε άλλη υπορουτίνα και θα σχολιαστεί στη συνέχεια.

Κατά τη διάρκεια των απαιτούμενων για τη σύγκλιση βημάτων, υπολογίζονται όλες οι τιμές που αφορούν το σύστημα GWCooling (θερμοκρασίες,

θερμοροές, σχετική υγρασία και δείκτες θερμικής άνεσης) και αποθηκεύονται σε λογιστικά φύλλα του Excel, από όπου μπορεί κανείς να δει και την πρόοδο της σύγκλισης. Όταν η προσομοίωση τελειώσει, τότε όλα τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε ένα τελικό αρχείο που φέρει ως όνομα τα χαρακτηριστικά του υβριδικού συστήματος και η εφαρμογή κλείνει αυτόματα.

β. Βασικός αλγόριθμος

Ο βασικός αλγόριθμος υπάρχει στο module Algorithm. Εκεί υπάρχουν επτά υπορουτίνες, κάθε μια εκ των οποίων καλείται από το κεντρικό περιβάλλον της εργασίας εφαρμογής εκτός από τις υπορουτίνες υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας και της πτώσης πίεσης. Η σειρά με την οποία καλούνται κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης αναλύεται στη συνέχεια.

Πίνακας 1. Υπορουτίνες που περιέχονται στο module Algorithm.bas

Υπορουτίνα	Περιγραφή
MakeBLG	Δημιουργία των αρχείων εισόδου συναρτήσει των δεδομένων
SetIniValues	Ορισμός της τιμής 20 °C στην αρχική θερμοκρασία του νερού στην αρχή της προσομοίωσης
RunSimulation	Τρέξιμο των εκτελέσιμων αρχείων EDITS.exe και LOADS.exe
ReadResults	Ανάγνωση των «χρήσιμων» αποτελεσμάτων από τα αρχεία εξόδου κάθε βήματος
WriteResults	Δημιουργία του αρχείου Excel σε κάθε βήμα με τα απαραίτητα αποτελέσματα
MeanTRadiation	Υπολογισμός της βαρομετρικής μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας
PtwsnPiesis	Υπολογισμός της πτώσης πίεσης του νερού εντός των αγωγών

Σαν πρώτο βήμα, γίνεται ο αρχικός ορισμός της θερμοκρασίας του νερού για όλες τις ώρες σε μια θερμοκρασία 20 °C. Αυτό γίνεται για το λόγο ότι στο πρώτο βήμα το νερό δε θα έχει κάποια θερμοκρασία και η προσομοίωση θα αργήσει να

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

συγκλίνει (πρακτικά, αλλιώς στο νερό θα δινόταν η τιμή 0 για κάθε ώρα της αρχικής προσομοίωσης).

Έπειτα, δημιουργούνται τα αρχεία εισόδου ανάλογα με τα δεδομένα που έχουν οριστεί στη φόρμα και γίνεται η εκτέλεση των δύο εκτελέσιμων αρχείων του SUNCODE επαναληπτικά για δεκαπέντε δεκαήμερα. Η δημιουργία των αρχείων εισόδου ουσιαστικά είναι μια τροποποίηση ενός ήδη γραμμένου αρχείου, του *mitra.blg*⁷, το οποίο τροποποιείται ανάλογα με τα δεδομένα. Συνολικά δημιουργούνται 15 αρχεία εισόδου⁸ στο τέλος αυτού του βήματος. Αυτό γίνεται διότι δεν επαρκεί η χωρητικότητα που παρέχει το SUNCODE για την εισαγωγή όλων των δεδομένων στα εν λόγω αρχεία. Η εκτέλεση των αρχείων ενεργειακής προσομοίωσης του SUNCODE υπολογίζει, για τις συνθήκες που ορίζονται στα αρχεία εισόδου, όλες τις θερμοκρασίες και τις θερμοροές που λαμβάνουν χώρα στο κτίριο και τις αποθηκεύει στα αρχεία εξόδου.

Εν συνεχεία, ανοίγονται τα αρχεία εξόδου του SUNCODE και από μια πληθώρα πληροφοριών ο κώδικας αναλαμβάνει να διαχωρίσει τα χρήσιμα αποτελέσματα και να τους προσδώσει το κατάλληλο όνομα, το οποίο θα είναι χαρακτηριστικό της κάθε ώρας και του κάθε βήματος σύγκλισης. Σε αυτό το σημείο γίνεται και ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας του νερού, η οποία τίθεται ως θερμοκρασία θερμοστάτη του ιδεατού κλιματιστικού της ιδεατής ζώνης που βρίσκεται το σύστημα GWCooling στο επόμενο βήμα, καθώς και υπολογίζεται και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του παρόντος και του προηγούμενου βήματος για κάθε ώρα της προσομοίωσης. Τέλος, όταν τελειώσει η προσομοίωση όλες οι τιμές που μπορεί να ενδιαφέρουν το χρήστη οδηγούνται σε ένα φύλλο Excel και εκεί μορφοποιούνται με τη βοήθεια ενός άλλου module.

Οι άλλες δύο υπορουτίνες που ορίζονται στο βασικό αλγόριθμο είναι αυτή που υπολογίζει τη βαρομετρική μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και αυτή που υπολογίζει την πτώση πίεσης εντός των αγωγών. Η πρώτη υπολογίζει τη μέση θερμοκρασία των περιβαλλουσών επιφανειών ως τη θερμοκρασία κάθε μιας επιφάνειας επί ένα συντελεστή που ισούται με το κλάσμα του εμβαδού της επιφάνειας

⁷ Το αρχείο *mitra.blg* δίνεται στο Παράρτημα 2

⁸ Ένα τυπικό αρχείο εισόδου δίνεται στο Παράρτημα 2, αφού έχει μορφοποιηθεί.

αυτής διά το συνολικό εμβαδόν όλων των επιφανειών. Όσο για την πτώση πίεσης, υπολογίζεται διαδοχικά ο συντελεστής πτώσης πίεσης f και εν συνεχεία η πτώση πίεσης σε Pascal, όπως περιγράφεται σε προηγούμενη υποενότητα.

C. Υπόλοιπα υποσύνολα (modules)

Πέρα από τον κεντρικό άξονα που κινείται ο κώδικας, ήταν ανάγκη να αναπτυχθούν και άλλα, βοηθητικά υποσύνολα. Αυτό έπρεπε να γίνει σε χώρους διαφορετικούς των πιο πάνω, λόγω του μεγάλου όγκου που θα αποκτούσε ο βασικός αλγόριθμος, γεγονός που ενδεχομένως να κατάληγε ακόμα και σε σφάλμα σύγχυσης λόγω του πλήθους των μεταβλητών και των πολλών υπορουτινών. Αυτό ανάγκασε το γράφοντα να χωρίσει τον υπόλοιπο κώδικα σε τέσσερα υποσύνολα.

Το πρώτο έχει να κάνει με τους ορισμούς των παραμέτρων και των σταθερών της εφαρμογής, ορισμοί που είναι απαραίτητο να δηλώνονται. Το πλήθος των ορισμών (πάνω από 50) θα δυσκόλευε πολύ τη συγγραφή του βασικού κώδικα αν τοποθετούνταν εκεί.

Το δεύτερο module χρησιμεύει για την καθυστέρηση της έναρξης μιας εφαρμογής πριν τελειώσει η προηγούμενη. Χρησιμοποιείται για το χρονοισμό του LOADS.exe μόλις το EDITS.exe εκτελεστεί, αφού η δεύτερη αυτή εφαρμογή χρησιμοποιεί δεδομένα της πρώτης για τη λειτουργία της. Αν δεν υπήρχε αυτό το module ο χρήστης θα ήταν υποχρεωμένος να πιέζει επανειλημμένα κουμπιά για την διαδοχική χρήση των EDITS.exe, LOADS.exe και του υπόλοιπου αλγορίθμου.

Στο επόμενο υποσύνολο περιγράφεται πώς θα γίνει η μορφοποίηση των αποτελεσμάτων στο Excel και τον τρόπο που θα δημιουργηθούν τα διαγράμματα, καθώς και η αποθήκευση του τελικού φύλλου του Excel. Ο εν λόγω κώδικας σε αυτό το module προέρχεται από διαμόρφωση μακροεντολής του Excel και στην ουσία κάθε φορά που τελειώνει μια προσομοίωση και έρχεται η στιγμή που θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα στο φύλλο αυτό θα καλείται αυτή η μακροεντολή από το module αυτό του κώδικα.

Πίνακας 2. Διαχωρισμός του κώδικα σε υποσύνολα (modules)

Τύπος	Όνομα στοιχείου	Περιγραφή
Form	Cooling.frm	Κεντρικό περιβάλλον εργασίας εφαρμογής. Από εδώ γίνεται η επιλογή των διαφόρων παραμέτρων της προσομοίωσης και ελέγχεται η λειτουργία της εφαρμογής. Παράλληλα, γίνεται έλεγχος της σύγκλισης των αποτελεσμάτων.
Basic Module (1)	Algorithm	Κεντρικό Module εφαρμογής. Σε αυτό γίνονται οι υπολογισμοί που αφορούν το σύστημα, και ελέγχεται η σύζευξη του κτιριακού μοντέλου που ορίζεται στο SUNCODE-PC με το μοντέλο του συστήματος. (Υπολογισμός θερμοκρασιών νερού, δημιουργία αρχείων εισόδου στο SUNCODE-PC, ανάγνωση και έλεγχος των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαδοχικών βημάτων κλπ)
Module 2	Declaration	Module ορισμού παραμέτρων και σταθερών εφαρμογής
Module 3	API	Module για την εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών συστήματος σε επίπεδο πυρήνα λειτουργικού συστήματος API (Application Programming Interface). Οι λειτουργίες αυτές αφορούν κυρίως τη σύζευξη και τον έλεγχο λειτουργίας του SUNCODE-PC
Module 4	MsExcel	Module για την αυτόματη εκτύπωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε αρχείο του Microsoft Excel.
Module 5	PMV_PPD	Module με υπορουτίνες για τον υπολογισμό της θερμικής άνεσης στο χώρο

Τέλος, υπάρχει και ένα module που είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό των δεικτών θερμικής άνεσης για όλη την περίοδο κλιματισμού. Αυτό το module υπάρχει σε έτοιμη μορφή⁹ και χρησιμοποιήθηκε αυτούσιο για χαμηλό επίπεδο ένδυσης και δραστηριότητα που παραπέμπει σε καθιστική εργασία, τιμές που άλλωστε συναντώνται σε νοικοκυριά τους καλοκαιρινούς μήνες.

⁹ International Standards Organization, ISO 7730, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort

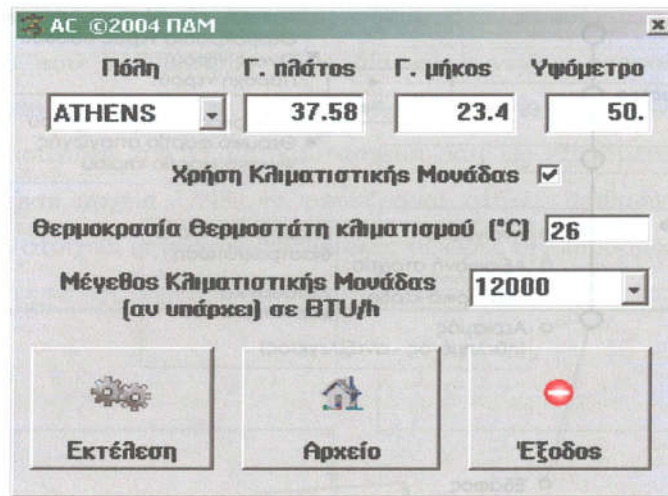
Στην προηγούμενη σελίδα δίνεται ένας πίνακας με όλα τα στοιχεία του κώδικα και τη συνοπτική περιγραφή τους.

5. Κατανάλωση κατοικίας με χρήση μόνο συμβατικής κλιματιστικής μονάδας

Η όλη διαδικασία υπολογισμού έως τώρα έχει επικεντρωθεί στην προσπάθεια προσομοίωσης του υβριδικού συστήματος. Δεν έχει γίνει κάποια αναφορά στο συμβατικό σύστημα κλιματισμού και την κατανάλωση που αυτό θα συνεπάγεται στο κτίριο. Πράγματι, η ύπαρξη ακόμα και χωρίς τη λειτουργία του συστήματος δροσισμού GWCooling, επηρεάζει κατά πολύ την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου, καθώς πλέον η θερμική μάζα του νερού προσθέτει θερμική αδράνεια στο κτίριο και συνεπώς δεν αφήνει εκτεθειμένη την οροφή στις εξωτερικές συνθήκες, αφού απορροφάει μεγάλο μέρος της εισερχόμενης θερμότητας από το ευπαθές αυτό στοιχείο του κελύφους.

Από τη στιγμή που ο κώδικας υπολογισμού έχει γίνει με την υπόθεση ύπαρξης αυτού του συστήματος, δε θα επιτρέπει την ενεργειακή προσομοίωση ενός κτιρίου που θα χρησιμοποιεί ως σύστημα κλιματισμού μόνο μια συμβατική κλιματιστική μονάδα. Για αυτό το λόγο έγινε και η ανάπτυξη ενός ακόμη, μικρότερου σε όγκο και πολυπλοκότητα κώδικα, ο οποίος καλύπτει αυτό ακριβώς το κενό.

Η φόρμα του εν λόγω προγράμματος είναι πιο απλή από αυτή του GWCooling.exe και δεν απαιτούνται φυσικά διαδοχικά βήματα διότι δεν απαιτείται κάποιου είδους σύγκλιση, αφού το σύνολο σχεδόν της προσομοίωσης πλέον διενεργείται από το SUNCODE και ο κώδικας αναλαμβάνει απλά την εισαγωγή των δεδομένων στα αρχεία εισόδου. Κατά τα άλλα, ο χειρισμός του προγράμματος είναι σχεδόν ίδιος και τα αποτελέσματα αποθηκεύονται με τον ίδιο τρόπο σε παρόμοια αρχεία Excel.



Σχήμα 12. Φόρμα εργασίας AC.exe

6. Περιγραφή του συνόλου του υπολογιστικού κώδικα

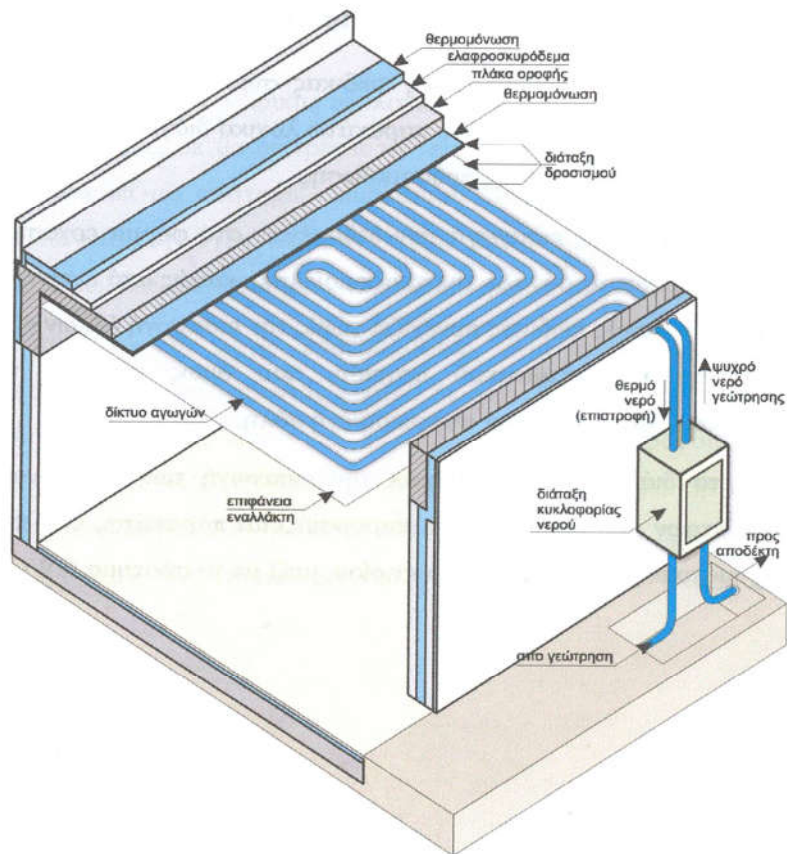
Στο σύνολό του, ο υπολογιστικός κώδικας συμπεριλαμβανομένου και του SUNCODE, δίνεται απεικονισμένος στο παρακάτω λογικό διάγραμμα, όπου φαίνεται καθαρά η δομή και η γενική ιδέα της προσομοίωσης.

Στην αρχή, γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων στη φόρμα εργασίας από το χρήστη. Εκεί, ρυθμίζεται το σύνολο της προσομοίωσης, καθώς από εκείνη τη στιγμή και έπειτα ο υπολογιστικός κώδικας συνεχίζει χωρίς την εισαγωγή άλλων εξωτερικών παραμέτρων, πλην του κλιματικού αρχείου, που όμως για μια κατηγορία προσομοιώσεων που γίνονται σε μια συγκεκριμένη πόλη, είναι το ίδιο.

Γενικά, το διάγραμμα που δείχνει την εισαγωγή των δεδομένων και το ισοζύγιο παραμέτρων που δημιουργείται παρουσιάζεται παρακάτω, ενώ παράλληλα δίνεται και σχηματοποιημένη η δομή του κτιρίου, μαζί με το σύστημα GWCooling.

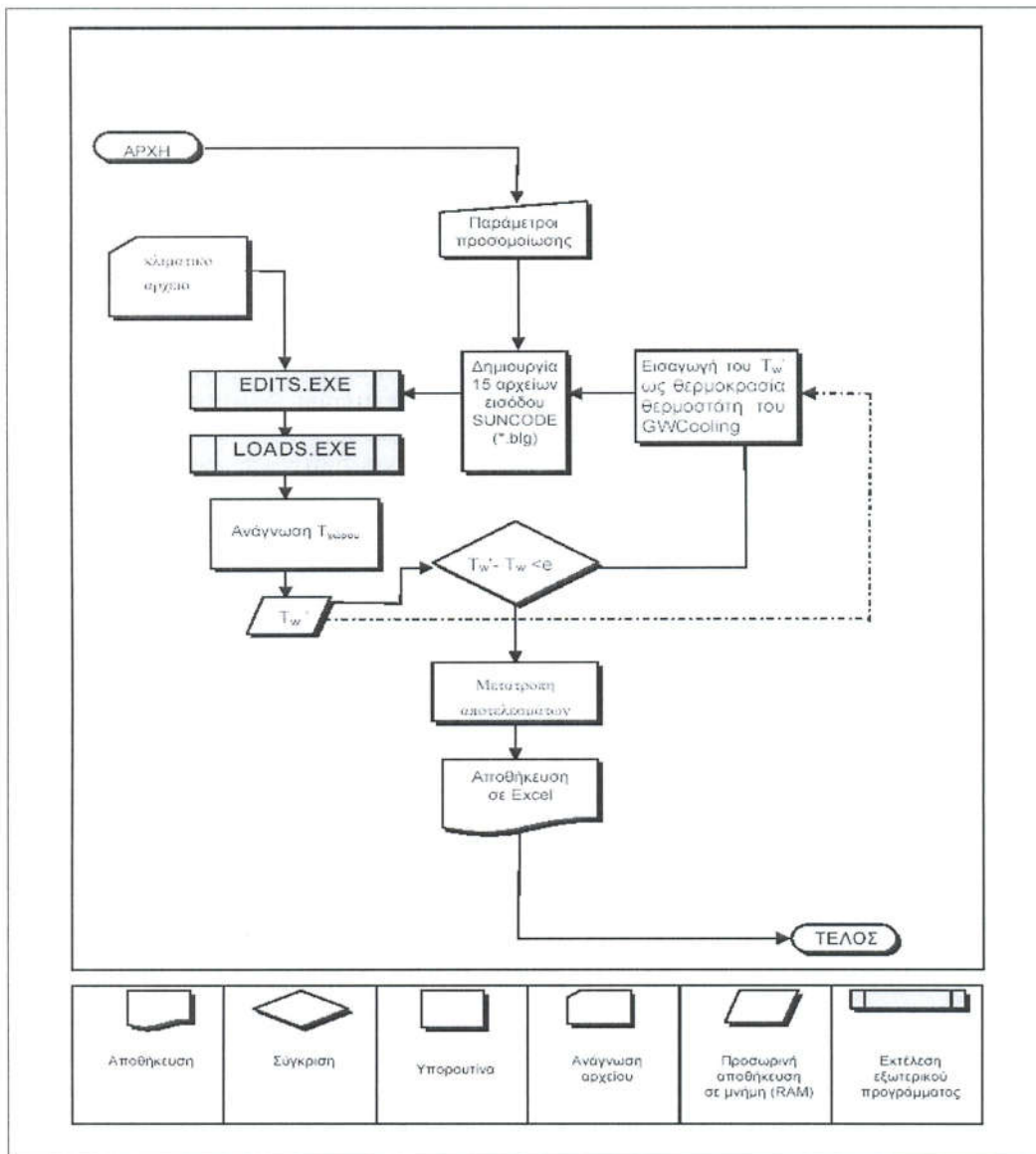


Σχήμα 13. Διάγραμμα ροής δεδομένων



Σχήμα 14. Τομή του κτιρίου όπου φαίνεται καθαρά η διαμόρφωση των σωληνώσεων, καθώς και το σύνολο του υπόλοιπου συστήματος GW Cooling και τα τμήματα της οροφής

Τα δεδομένα που εισάγονται στη φόρμα μορφοποιούν ανάλογα δεκαπέντε αρχεία εισόδου του SUNCODE, τα οποία εν συνεχεία τροφοδοτούν τα δύο εκτελέσιμα αρχεία EDITS.exe και LOADS.exe. Σε αυτή τη διαδικασία χρειάζεται και η παράλληλη εισαγωγή του κλιματικού αρχείου και ως εξαγόμενα αποτελέσματα δίνονται δεκαπέντε αρχεία UNF, τα οποία είναι στήλες αριθμών με κατάλληλη διάταξη για όσα στοιχεία ζητηθούν και για όλες τις ώρες της προσομοίωσης.



Σχήμα 15. Λογικό διάγραμμα ροής GWCooling

Από τα αρχεία UNF αντλείται μεταξύ των άλλων και η θερμοκρασία του χώρου για όλη την περίοδο, και χρησιμοποιείται για τον εκ νέου υπολογισμό της μέσης θερμοκρασίας του νερού. Έπειτα, γίνεται ο έλεγχος της σύγκλισης και σε περίπτωση που η σύγκλιση δεν έχει επιτευχθεί, η μέση θερμοκρασία του νερού επανεισάγεται στα αρχεία εισόδου του επόμενου βήματος σύγκλισης και συνεχίζεται η ίδια διαδικασία μέχρι την επιθυμητή σύγκλιση.

Στην περίπτωση που η προσομοίωση επιτευχθεί, εμφανίζεται ένα παράθυρο που απλά ενημερώνει για το τέλος της διαδικασίας προσομοίωσης και ακολουθεί η εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε αρχείο του Excel.

Παραμετρική ανάλυση

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

1. Επιλογή παραμέτρων	118
2. Κατασκευαστικές παράμετροι	119
A. Επιφάνεια εναλλαγής	119
B. Διάμετρος σωληνώσεων	122
C. Ισχύς κλιματιστικού	124
3. Γενικές παράμετροι	126
A. Παροχή υπογείων υδάτων	126
B. Θερμοκρασία εισαγωγής υπογείων υδάτων	127
C. Θερμοκρασία ορισμού του θερμοστάτη	130
4. Σύνοψη κεφαλαίου – συμπεράσματα	131

1. Επιλογή παραμέτρων

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια αναφοράς όλων εκείνων των παραμέτρων που αφορούν στη λειτουργία του συστήματος GWCooling, καθώς και στη λειτουργία του κτιρίου. Θα παρουσιαστούν όλες οι κυριότερες περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να μεταπέσει η παράμετρος και μέσω τεκμηριωμένων απαντήσεων με τη βοήθεια βιβλιογραφικών πηγών και διαγραμμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση του συστήματος, θα δοθούν οι απαραίτητες διευκρινιστικές εξηγήσεις. Άλλωστε, ελλείψει πειραματικής διάταξης που θα κάλυπτε μέρος του ελέγχου ορθότητας των αποτελεσμάτων, η παρούσα έρευνα υποχρεούται να καταφύγει σε τέτοιου είδους αναλύσεις για τον εμπειρικό, εν μέρει, έλεγχο των τελικών αναλύσεων.

Η επιλογή των παραμέτρων έχει να κάνει με την προσπάθεια εντοπισμού νευραλγικών σημείων στη θεώρηση, τα οποία αν μεταβληθούν μεταβάλλεται ταυτόχρονα και η λειτουργία του συστήματος GWCooling, καθώς και της κλιματιστικής μονάδας που (υπο)βοηθάει στην επίτευξη της απαραίτητης θερμικής άνεσης. Θα εξεταστούν δύο ειδών παράμετροι:

1. Οι κατασκευαστικοί παράμετροι και
2. Οι γενικές παράμετροι

Όπως υποδηλώνουν και τα ονόματα των ομάδων αυτών, η πρώτη ομάδα έχει να κάνει με κατασκευαστικές διαμορφώσεις και η δεύτερη με επιλογές που αφορούν όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Ονομαστικά η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει την επιφάνεια εναλλαγής, τη διάμετρο των σωληνώσεων και την τοποθέτηση ή όχι κλιματιστικής μονάδας παράλληλα με το σύστημα GWCooling, καθώς και την ισχύ της τελευταίας (σε περίπτωση που εγκατασταθεί). Αντίστοιχα, η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει την παροχή υπόγειου ύδατος, τη θερμοκρασία εισαγωγής του στις σωληνώσεις και τη θερμοκρασία του θερμοστάτη που καλείται το σύστημα δροσισμού να παράσχει.

Όπως ευνόητα μπορεί κάποιος να διαπιστώσει, οι πρώτη ομάδα παραμέτρων είναι πιο «μόνιμη», εννοώντας βέβαια πως αν αποφασιστεί κάποια από τις παραπάνω παραμέτρους να υλοποιηθεί, δύσκολα θα υπάρξει αργότερα δυνατότητα αλλαγής. Στη δεύτερη ομάδα, ωστόσο, δεν αποκλείεται να υπάρχει μεταβολή των παραμετρικών τιμών, ακούσια ή εκούσια. Παρόλα αυτά, μέσω κατασκευαστικών λύσεων υπάρχει και η πιθανότητα αλλαγής σε κάποια χρονική στιγμή και της επιφάνειας εναλλαγής,

αλλά και της διαμέτρου, ενώ πιο εύκολη φαντάζει η αναβάθμιση (ή υποβάθμιση) της ισχύος της κλιματιστικής μονάδας.

Λόγω της ανάλυσης της έρευνας σε κατοικία που ομοιάζει σε όλα, πλην της ύπαρξης και λειτουργίας του συστήματος GWCooling, με κάποια άλλη συμβατική κατοικία, οι μόνες παράμετροι που μπορούν να μεταβάλλουν τα αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή κατάσταση του χώρου είναι οι προαναφερθέντες. Για αυτό το λόγο και τα δύο προγράμματα που κατασκευάστηκαν έχουν ως βάση τον ίδιο χώρο, στην ίδια περιοχή, με τις ίδιες κλιματικές και λειτουργικές συνθήκες και το μόνο που αλλάζει μεταξύ τους είναι η ύπαρξη του GWCooling.

Παρακάτω, θα γίνει η αναφορά στην κάθε παράμετρο ξεχωριστά, θα ορισθούν κάποιες τιμές εντός των οποίων μπορεί αυτή η παράμετρος να κινείται, θα αναλυθεί ο τρόπος που η μεταβολή του επιδρά στην ενεργειακή κατάσταση του χώρου και θα τεκμηριωθούν διάφορες λύσεις και απόψεις.

2. Κατασκευαστικές παράμετροι

Στην κατηγορία αυτή, όπως προαναφέρθηκε, ανήκει η επιφάνεια εναλλαγής, η διάμετρος των σωληνώσεων και η ισχύς της κλιματιστικής μονάδας. Η κάθε παράμετρος επιδρά διαφορετικά και σε διαφορετικό σημείο στα τελικά αποτελέσματα και αξίζει μια εις βάθος διερεύνηση των αποτελεσμάτων.

Α. Επιφάνεια εναλλαγής

Ως επιφάνεια εναλλαγής ορίζεται η επιφάνεια της κάτοψης των σωληνώσεων του συστήματος. Αυτό διότι έχει γίνει η υπόθεση πως η μορφή των σωληνώσεων στην οροφή είναι μορφής μαιάνδρου και άρα μεταξύ των ζευγών των σωληνώσεων ζεστού – κρύου νερού η όποια μετάδοση θερμότητας δεν επηρεάζει τη θεώρηση της μέσης θερμοκρασίας. Ως μέση θερμοκρασία του νερού λαμβάνεται κάθε φορά η μέση τιμή των θερμοκρασιών εισόδου – εξόδου. Άλλωστε, αυτή είναι και η γενικότερη θεώρηση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, από όπου η έρευνα δανείστηκε ορισμένα στοιχεία, σε ότι αφορά στον εναλλάκτη και τη διάταξη των σωλήνων.

Συνεπώς, η μετάδοση θερμότητας που θα λαμβάνει χώρα μεταξύ του χώρου και του συστήματος GWCooling θα είναι **μονοδιάστατη** (στην κατακόρυφη έννοια). Αυτό απλοποιεί σε κάποιο βαθμό τις προσπάθειες εύρεσης των αποτελεσμάτων, καθώς σε διαφορετική περίπτωση θα χρειαζόταν ανώτερα μαθηματικά και μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων σε τρεις διαστάσεις για τον

υπολογισμό των θερμοροών (όπως μέθοδοι CFD). Αυτό κρίθηκε όμως αρκετά χρονοβόρο από άποψη υπολογιστικής μελέτης και λόγω της πολυπλοκότητας που διακρίνει τέτοιου είδους μεθόδους αποφασίστηκε η εργασία να κινηθεί σε πιο απλοϊκούς τύπους, που αγνοούν τη μετάδοση θερμότητας σε δύο (ή και τρεις!) διαστάσεις. Άλλωστε, μακροσκοπικά, η κυρίαρχη θερμική ροή είναι αυτή μεταξύ του χώρου και του συστήματος.

Η προσπάθεια εύρεσης του κατάλληλου εκείνου μεγέθους που θα αναπαραστή με μεγάλη ρεαλιστικότητα την πραγματικότητα, όσον αφορά τη μετάδοση θερμότητας, κρίθηκε πως θα είναι η κάτοψη, και συνεπώς ο τύπος που θα δίνει την επιφάνεια εναλλαγής θα είναι ο παρακάτω:

$$A = L \cdot D \quad (1)$$

όπου

- A : Η επιφάνεια εναλλαγής
 L : Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων
 D : Η διάμετρος των σωληνώσεων

Για λόγους όμως

- Αποφυγής του έμμεσου υπολογισμού της επιφάνειας εναλλαγής
- Αποφυγής ορισμού ενός αριθμού αρκετά δυσνόητου ως μεγέθους (L)
- Ύπαρξης σχετικής βιβλιογραφίας¹ για το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει η συγκεκριμένη παράμετρος,

αποφασίστηκε αντί του συνολικού μήκους των σωληνώσεων να επιλέγεται η επιφάνεια εναλλαγής. Αυτή, κατά την βιβλιογραφία, θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του 30 με 50 % της κάτοψης του χώρου. Αυτό, στο υπό εξέταση κτίριο που έχει κάτοψη χώρου ίσο με 90,5 m² μεταφράζεται σε εύρος επιφανειών από 27 έως 45 m². Για αυτό και οι οριακές τιμές για την επιλογή της επιφάνειας επιλέγονται να είναι τα 25 και 45 m² και το μεταξύ τους βήμα ίσο με 5 m².

¹ http://www.advancedbuildings.org/_frames/fr_t_heat_radiant_heating.htm

Η επιλογή της επιφάνειας εναλλαγής γίνεται από μία λίστα στο παράθυρο δεδομένων του προγράμματος GWCooling.exe. Μπορεί να γίνει επιλογή μεγαλύτερης ή μικρότερης επιφάνειας, αλλά ο αναγνώστης θα πρέπει να έχει υπόψη του ότι τιμές εκτός του προαναφερόμενου εύρους δεν ενδείκνυνται από τη βιβλιογραφία.

Η προεπιλεγμένη επιφάνεια εναλλαγής ορίστηκε να είναι τα 30 m² και αυτό σαν μια μέση κατάσταση του συστήματος.

Ο τρόπος που επηρεάζει η επιφάνεια εναλλαγής την κατανάλωση του βοηθητικού κλιματιστικού είναι προφανής και συνδέονται με αντιστρόφως ανάλογη σχέση. Εν ολίγοις, αν η επιφάνεια εναλλαγής τείνει στο μηδέν, η κατανάλωση τείνει να εξισωθεί με την αντίστοιχη κατανάλωση του συμβατικού κτιρίου, δεδομένου ότι πρακτικά απουσιάζει η εξεταζόμενη διάταξη δροσισμού. Όσο η επιφάνεια αυξάνεται, τόσο η κατανάλωση για ψύξη από την κλιματιστική συσκευή μειώνεται, και αυτό είναι λογικό, αφού κατά τα γνωστά η μετάδοση θερμότητας κατ' οιονδήποτε τρόπο ακολουθεί τον τύπο

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

όπου

- \dot{Q} : Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας
U : Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας
A : Η επιφάνεια εναλλαγής
 ΔT : Η διαφορά θερμοκρασίας

Άρα υπάρχει μια προαίσθηση του τρόπου που θα επηρεάσει αυτή η παράμετρος την τελική κατανάλωση του κλιματιστικού.

Στον αντίποδα, συντρέχουν λόγοι οικονομικοί, κατασκευαστικοί και στατικοί για τον περιορισμό της επιφάνειας εναλλαγής, αν και για το εύρος των τιμών που δόθηκε η διαφορά του βάρους δεν είναι απαγορευτική, καθώς και η οικονομικότητα του συστήματος δεν επηρεάζεται υπερβολικά.

Όσον αφορά τον κατασκευαστικό περιορισμό, θα πρέπει να υπάρχει ένα διάκενο μεταξύ των σωληνώσεων για λόγους εγκατάστασης και επισκευσιμότητας. Στο 50 % της οροφής, οι παραπάνω λόγοι ικανοποιούνται οριακά, μη δίνοντας τη δυνατότητα επέκτασης της επιφάνειας εναλλαγής σε μεγαλύτερο εμβαδόν.

β. Διάμετρος σωληνώσεων

Η διάμετρος των χρησιμοποιούμενων σωληνώσεων είναι μια λιγότερο σημαντική παράμετρος, αφού δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση ή κάποιο άλλο μέγεθος του συστήματος. Παρόλα αυτά, κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί και αυτή η παράμετρος για τον πλήρη προσδιορισμό του προβλήματος.

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος σωληνώσεων για ενδοδαπέδια θέρμανση είναι αυτός του δικτυωμένου πολυαιθυλενίου², αλλά λόγω έλλειψης στοιχείων θα χρησιμοποιηθούν σωλήνες χαλκού, που είναι ευρέως διαδεδομένοι και τα στοιχεία τους σχετικά με τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες μπορούν να βρεθούν σε πλήθος πηγών³. Παράλληλα, ο χαλκός με την αυξημένη θερμική αγωγιμότητα που παρουσιάζει, αυξάνει τη θερμική επικοινωνία του νερού με την επιφάνεια εναλλαγής, κάτι που στην προκειμένη περίπτωση είναι θεμιτό και επιβαλλόμενο. Οι ενδεδειγμένες διαμέτροι που δίνονται από τις εταιρίες που ασχολούνται με ενδοδαπέδια θέρμανση είναι 16x2 και 18x2.

Η προεπιλεγμένη λοιπόν διάμετρος είναι αυτή των 2 cm (περίπου 3/4') και υπάρχουν ακόμη προς επιλογή αυτές των 3, 4 και 5 cm. Να σημειωθεί, πως μικρή διάμετρος σημαίνει μεγάλη πτώση πίεσης και μεγάλο μήκος σωλήνων, αφού κατά τον προαναφερθέντα τύπο θα ισχύει

$$L = \frac{A}{D} \quad (3)$$

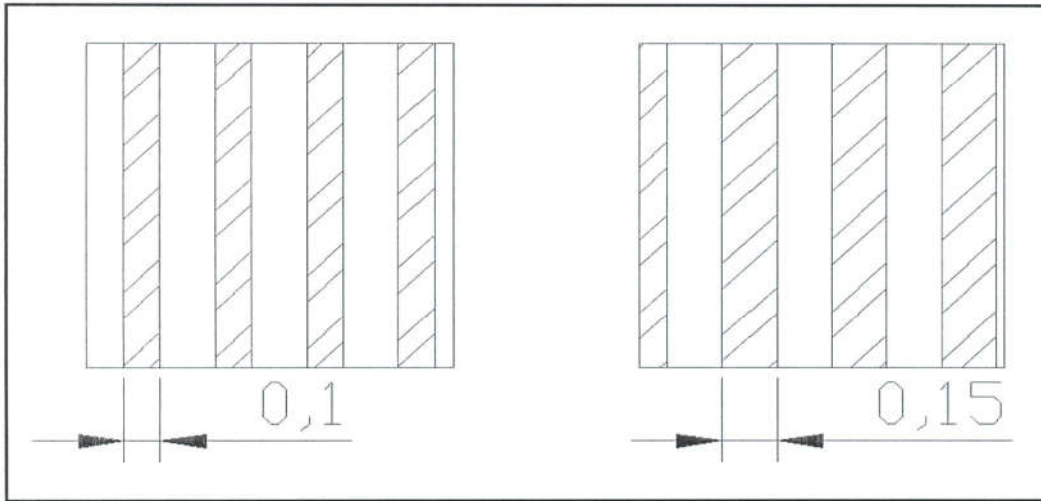
Άλλωστε, η επιφάνεια εναλλαγής έχει ήδη οριστεί και ανά μονάδα επιφάνειας θα υπάρχει σταθερή επιφάνεια σωληνώσεων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.

Οπότε, ο μόνος λόγος για την τοποθέτηση σωληνώσεων μικρής διαμέτρου παραμένει η ομοιομορφία της μετάδοσης θερμότητας, παράγοντας όμως, που δε λαμβάνεται υπόψη από τον κώδικα.

² Διαφημιστικό φυλλάδιο ΤΕΜΠΑ Α.Ε. Συστήματα θέρμανσης – Ψύξης ROTEX

Διαφημιστικό φυλλάδιο REHAU σχετικά με την ψύξη δαπέδου

³ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ σελ. 213



Σχήμα 1. Η επιφάνεια εναλλαγής ανά μονάδα επιφάνειας είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τη διάμετρό των σωληνώσεων.

Επίσης, λόγω της ανεπάρκειας του SUNCODE να προσομοιάσει ένα τόσο δυναμικό μοντέλο, όσο το GWCooling, και επειδή δεν μπορεί να εισαχθεί στο πρόγραμμα προσομοίωσης ένα πολύπλοκο σύστημα σωληνώσεων, αποφασίστηκε να αντικατασταθεί το σύστημα σωληνώσεων από μία θερμική μάζα νερού, ουσιαστικά έναν «τοίχο νερού». Αυτός ο τοίχος, θα έχει τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά του νερού και επιφάνεια κάτοψης ίση με την επιφάνεια εναλλαγής που αναλύθηκε σε προηγούμενες σελίδες. Λόγω όμως και της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, είναι αναγκαίο να δοθεί στο πρόγραμμα και ο όγκος του νερού που βρίσκεται μέσα στις σωληνώσεις. Αυτός είναι κατά τα γνωστά:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \quad (4)$$

όμως, λόγω της σχέσης (3) θα ισχύει:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \frac{A}{D} = \pi \cdot \frac{D}{4} \cdot A \quad (5)$$

Βλέπει λοιπόν, κανείς, πως ο όγκος του νερού εξαρτάται άμεσα από τη διάμετρο και την επιφάνεια εναλλαγής. Θεωρώντας πως ο τοίχος νερού έχει κάτοψη ίση με την επιφάνεια εναλλαγής, το ύψος του τοίχου αυτού θα είναι ίσο με:

$$H = \pi \cdot \frac{D}{4} \quad (6)$$

όπου

H : Το ύψος του ιδεατού τοίχου νερού

Αυτός ο τοίχος νερού τοποθετείται στη θερμική ζώνη πάνω από τον χώρο της κατοικίας, και το SUNCODE τον αντιλαμβάνεται ως μια θερμική καταβόθρα / πηγή, ανάλογα με το αν απορροφά θερμότητα ή όχι. Η διάμετρος, λοιπόν, των αγωγών, μεταφράζεται με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου συντελεστή σε ύψος ενός ιδεατού τοίχου. Άρα, παίζει άμεσο ρόλο στη θερμοχωρητικότητα της δεύτερης ζώνης, καθώς αυξανόμενη δημιουργεί μεγαλύτερο όγκο νερού και άρα μεγαλύτερη μάζα νερού με όποια αποτελέσματα αυτό επιφέρει.

Ανακεφαλαιώνοντας, η διάμετρος δεν επηρεάζει την επιφάνεια εναλλαγής ως προς την οποία γίνεται η μετάδοση θερμότητας, αλλά επηρεάζει άμεσα τη θερμοχωρητικότητα του συστήματος εξομαλύνοντας τυχόν θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο χώρο κάτωθεν της οροφής και υστερώντας χρονικά τη θερμική πλήξη του χώρου.

Σε επόμενο κεφάλαιο θα εξεταστεί ο τρόπος που η διάμετρος επηρεάζει την ενεργειακή κατανάλωση ως παράγοντας αύξησης της πτώσης πίεσης. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη σημασία της θερμικής μάζας έχουν δοθεί στο κεφάλαιο 2.

C. Ισχύς κλιματιστικού

Όσον αφορά την ισχύ του κλιματιστικού, τα πράγματα είναι αρκετά απλοποιημένα. Το πρόβλημα σε αυτήν την παράμετρο είναι να βρεθεί η βέλτιστη λύση που να ελαχιστοποιεί το αρχικό και το λειτουργικό κόστος και ταυτόχρονα να καλύπτει τις απαιτήσεις για τις οποίες έχει εγκατασταθεί. Αυτές οι απαιτήσεις είναι ουσιαστικά στην παρούσα μελέτη η κάλυψη της επιθυμητής θερμοκρασίας (θερμοκρασία θερμοστάτη) και αγνοείται η θερμική και αφυγραντική ισχύς του.

Τα κυριότερα μεγέθη ισχύος που εξετάζονται είναι αυτά των 7.000, 9.000, 12.000, 15.000, 18.000 και 21.000 Btu/h. Άλλωστε αυτά είναι και τα κυριότερα μεγέθη κλιματιστικών που κυκλοφορούν ευρέως στο εμπόριο. Η προεπιλεγμένη ισχύς τίθεται ίση με 12.000 Btu/h.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως η κλιματιστική μονάδα δεν τοποθετείται σημειακά, αλλά υποτίθεται ότι αφαιρεί θερμότητα από (ψύχει δηλαδή) το χώρο ισοτρόπως. Αυτό έχει πρακτική σημασία στην κατανόηση της έννοιας του κλιματισμού στο SUNCODE, αφού για τον μέσο ένοικο ο κλιματισμός είναι μια σημειακή καταβόθρα ενέργειας και πολλές φορές η αιτία μιας αίσθησης ψύχους από κακή χρήση του τελευταίου. Το κλιματιστικό συνήθως χρησιμοποιείται για να ψύξει ένα χώρο κατά πολύ μικρότερο της συνολικής κάτοψης του ψυχόμενου χώρου, και αυτό δίνει τη λανθασμένη εντύπωση πως για ένα μεγάλο χώρο αρκεί μια μικρή κλιματιστική μαινάδα. Αυτό δεν ισχύει στο SUNCODE, αφού η ψύξη αναπτύσσεται ταυτόχρονα και ισόποσα σε όλα τα σημεία του χώρου που έχει οριστεί ως κάτοψη της προκειμένης ζώνης.

Προσοχή λοιπόν θα πρέπει να δοθεί από τον αναγνώστη στην επιλογή του κλιματιστικού, αφού αυτό θα κληθεί να ψύξει όλη τη ζώνη στη θερμοκρασία που θα επιλεγεί από τον χρήστη.

Η ύπαρξη του κλιματιστικού, όμως, δεν είναι απαραίτητη. Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα για την αφαίρεση του κλιματιστικού και τη λειτουργία του συστήματος GWCooling ως μοναδικού συστήματος δροσισμού (και ίσως ψύξης).

Στην περίπτωση που επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα και κλιματιστική μονάδα, τότε στα αποτελέσματα του SUNCODE θα δίνεται και η ωριαία κατανάλωσή του για όλο το καλοκαίρι (υπενθυμίζεται ότι καλοκαίρι θεωρείται όλο το διάστημα από 1/5 έως 30/9).

Η ύπαρξη του κλιματιστικού θα είναι βοηθητική και δε θα λειτουργεί παρά μόνο όταν το σύστημα GWCooling δεν καταφέρνει να περιορίσει την θερμοκρασία του χώρου σε επίπεδο ενός βαθμού μεγαλύτερου από τη θερμοκρασία του θερμοστάτη. Τότε το κλιματιστικό θα λειτουργεί παράλληλα με το σύστημα δροσισμού και θα κλείνει όταν πλέον η θερμοκρασία χώρου βρεθεί και πάλι σε επίπεδα κάτω της θερμοκρασίας του θερμοστάτη. Αυτή η ενέργεια που θα καταναλώνεται όλη τη θερινή περίοδο θα είναι και το ζητούμενο αποτέλεσμα για τη σύγκρισή του με τη μεμονωμένη λειτουργία ενός κλιματιστικού (χωρίς το σύστημα δροσισμού δηλαδή).

3. Γενικές παράμετροι

Οι γενικές παράμετροι δεν παίζουν πλέον ρόλο σε κάποια κατασκευαστική διαμόρφωση, αλλά επηρεάζουν μόνο τη λειτουργία του κτιρίου και του συστήματος δροσισμού. Αν και μία από αυτές δεν εξαρτάται από τους ένοικους, η θερμοκρασία εισόδου του νερού, οι άλλες δύο παίζουν άμεσο ρόλο στην επίτευξη της θερμικής άνεσης. Ο τρόπος που αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν την κατανάλωση θα αναλυθούν εν συνεχεία.

Α. Παροχή υπογείων υδάτων

Η παροχή των υπογείων υδάτων είναι μια παράμετρος ανάλογη της μετάδοσης θερμότητας και της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού. Από τον πολύ απλό τύπο

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \Rightarrow T_{out} = T_{in} + \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \cdot c_p} \quad (7)$$

έως τον περισσότερο πολύπλοκο τύπο για τη μετάδοση θερμότητας σε αγωγούς μεγάλου μήκους για σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος

$$T_{out} = T_s - (T_s - T_i) \cdot e^{-\left(\frac{h \cdot A}{\dot{m} \cdot c_p}\right)} \quad (8)$$

μπορεί κανείς να αντιληφθεί πως η παροχή του ρευστού (στη συγκεκριμένη περίπτωση του νερού) μεταβάλλει τη θερμοκρασία εξόδου αντιστρόφως ανάλογα. Συνεπώς, αν ιδεατά η παροχή μάζας του νερού μηδενιστεί, τότε η θερμοκρασία εξόδου θα πρέπει να τείνει στο άπειρο. Αυτό, αν αναλυθεί στην πραγματικότητα, θα προκαλέσει την απορία. Παρόλα αυτά όμως, αυτοί οι τύποι αναφέρονται σε σταθερή κατάσταση και αγνοούν την παραμένουσα μάζα εντός των σωληνώσεων. Άρα, λογικό είναι όσο μικραίνει η παροχή να απαιτείται μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά για την απαγωγή του ίδιου φορτίου.

Στην περίπτωση του συστήματος GWCooling, η παραμένουσα μάζα του νερού λαμβάνεται υπόψιν από το SUNCODE, και η θερμοκρασία εξόδου του νερού δίνεται έμμεσα από τη σχέση (8). Αυτό γίνεται αποδεκτό από τη μελέτη, αφού το SUNCODE υπολογίζει όλες τις εξισώσεις για μέσες ωριαίες καταστάσεις, και η μάζα του νερού που βρίσκεται εντός των σωληνώσεων δεν απαιτεί για την απομάκρυνσή της από τους αγωγούς χρονική διάρκεια μεγαλύτερη από αυτήν της ώρας, δεδομένου ότι πρόκειται για ένα δυναμικό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα συνεχώς. Αυτός είναι

και ο λόγος που για πολύ μικρές ροές νερού το σύνολο του κώδικα δεν δίνει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτό δε σημαίνει ότι και για μεγαλύτερες παροχές ισχύει η μειωμένη αναξιοπιστία, αλλά αντιθέτως, όσο μεγαλώνει η παροχή, τόσο αυξάνει και η αξιοπιστία του κώδικα.

Το εύρος των τιμών που προτείνονται είναι από 0,05 kg/sec έως 0,6 kg/sec με βήμα το 0,1 kg/sec, εκτός από το πρώτο βήμα. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι τα 0,3 kg/sec και αυτή η τιμή επιλέγεται καθώς αποτελεί μια αρκετά ρεαλιστική τιμή παροχής. Ας σημειωθεί ότι η ροή μιας οικιακής βρύσης νιπτήρα είναι περίπου 9 λίτρα ανά λεπτό, ή περίπου 0,15 kg/sec. Δεδομένου ότι το σύστημα GWCooling θα συνδέεται απευθείας με μία γεώτρηση, η παροχή θα είναι μεγαλύτερη, άρα μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και τη μέγιστη τιμή των 0,6 kg/sec. Αυτό όμως με τη σειρά του θα προξενήσει μεγάλη κατανάλωση στην αντλία που θα κυκλοφορεί το νερό εντός των αγωγών.

Συνεπώς θα πρέπει πάντοτε να επιδιώκεται η βέλτιστη λύση λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω. Η παραμετρική ανάλυση των αποτελεσμάτων θα δείξει πού το σύστημα αποδίδει καλύτερα και για ποιες παροχές η οικονομικότητά του είναι πιο βιώσιμη. Επειδή, τέλος, η όλη μελέτη δεν περιέχει πειραματική τεκμηρίωση, τα αποτελέσματα θα πρέπει να μελετηθούν και να αξιολογηθούν εμπειρικά. Η εργασία αυτή θα παραμείνει στις παραπάνω τιμές που αναφέρθηκαν και για αυτές τις τιμές θα θεωρηθεί πως το σύστημα δουλεύει και προσομοιώνεται αρκετά αξιόπιστα.

β. Θερμοκρασία εισαγωγής υπογείων υδάτων

Αυτή η παράμετρος είναι δυστυχώς η περισσότερο στοχαστική, καθώς πουθενά δεν υπάρχουν τεκμηριωμένα και πιστοποιημένα στοιχεία που να δίνουν τη θερμοκρασία που βρίσκονται τα υπόγεια ύδατα.

Από διάφορα μαθήματα που αναφέρθηκαν στη γεωθερμική ενέργεια⁴, καθώς και σε άλλα που ασχολήθηκαν με την παθητική θέρμανση και τον δροσισμό⁵, έγινε σαφές ότι η θερμοκρασία του εδάφους έχει την ικανότητα να διατηρείται σχεδόν σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους και μάλιστα η σταθερότητα αυτή να εξαρτάται

⁴ Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Δ' εξάμηνο σπουδών του τμήματος

Ηλιακή τεχνική, Φωτοβολταϊκά συστήματα και γεωθερμία, Θ' εξάμηνο σπουδών του τμήματος

⁵ Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων I και II. Θ' και I' εξάμηνο σπουδών του τμήματος αντίστοιχα

από το βάθος. Επίσης, λαμβάνει χώρα και ένα ακόμα φαινόμενο, αυτό της χρονικής υστέρησης κατά τη μεταφορά της θερμότητας από το περιβάλλον προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους. Άρα, ευνόητο είναι η θερμοκρασία σε κάποιο σημείο σε μεγάλο βάθος να διατηρείται σταθερή.

Αυτό ευνοεί και τη σταθερότητα της θερμοκρασίας των υπογείων υδάτων, αφού αυτά διακινούνται στο πορώδες του υπεδάφους. Άρα θεωρητικά η θερμοκρασία των υπογείων υδάτων θα διατηρείται σταθερή και μάλιστα, αν θεωρηθεί πως επηρεάζεται από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία, η χρονική υστέρηση θα είναι τόσο μεγάλη που ουσιαστικά θα ευνοεί την όλη ιδέα του συστήματος δροσισμού, αφού θα πλησιάζει την εποχιακή υστέρηση. Συνεπώς, σε κάθε περίπτωση η θερμοκρασία των υπογείων υδάτων μπορεί να θεωρηθεί σταθερή με μεγάλη βεβαιότητα.

Άλλωστε, μέλη του διδακτικού προσωπικού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης⁶ ενημέρωσαν τον μελετητή πως οι θερμοκρασίες των υπογείων υδάτων είναι όντως σταθερές κατά τη διάρκεια του έτους και μάλιστα εξέφρασαν και τη γνώμη τους για το εύρος που αυτές κυμαίνονται.

Ο δρ. Μελαδιώτης Ιωάννης ανέφερε πως η θερμοκρασία των υπογείων υδάτων είναι σχεδόν σταθερή σε βάθος μεγαλύτερο των 150 – 200 μέτρων, και λαμβάνει τιμές της τάξης των 16-19 °C. Εν συνέχεια, ο δρ. Κωνσταντίνος Κατσιφαράκης, εμφανώς πιο αισιόδοξος για την πορεία της μελέτης, ανέφερε πως οι εν λόγω τιμές είναι περισσότερο ευνοϊκές και σε μικρότερο βάθος, εννοώντας πως με μία γεώτρηση 50 μέτρων που θεωρείται «σχετικά ρηχή», όπως δήλωσε, μπορούν να βρεθούν θερμοκρασίες απόλυτα σταθερές που να βρίσκονται αρκετά κοντά στη θερμοκρασία των 15 °C. Αυτό ενθάρρυνε τη συνέχεια της μελέτης, αφού, ακόμα και σε περίπτωση θερμικών απωλειών από την άντληση του νερού, το τελευταίο θα είναι και πάλι κατάλληλο για δροσισμό.

Εν πάση περιπτώσει, επειδή και οι δύο καθηγητές δεν είχαν τεκμηριωμένα στοιχεία, και άλλωστε ούτε στο διαδίκτυο, αλλά ούτε και σε βιβλιοθήκες υπήρχαν τέτοια στοιχεία, δεν μπόρεσε να γίνει κάποια περισσότερο εμπειριστατωμένη έρευνα. Άρα η εργασία θα αρκестεί σε παραμετρικές τιμές που ο χρήστης κάθε φορά θα

⁶ Δρ. Μελαδιώτης Ιωάννης, Καθηγητής τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

Δρ. Κατσιφαράκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

μπορεί να επιλέγει από το βασικό παράθυρο δεδομένων. Το εύρος που δόθηκε είναι από 17 °C έως 22 °C, με βήμα 1 °C.

Η θερμοκρασία των 17 °C επιλέχθηκε να είναι η χαμηλότερη επειδή, όπως αναφέρθηκε πλήθος εξειδικευμένων εργαζομένων σε εταιρίες κλιματισμού και όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει από τον ψυχομετρικό χάρτη, για θερμοκρασίες κάτω των 18 °C αρχίζει να παρατηρείται το φαινόμενο της συμπύκνωσης, όσον αφορά συνήθεις συνθήκες δωματίου.

Για κατασκευαστικούς λόγους, λοιπόν, η θερμοκρασία εισαγωγής περιορίζεται να ξεκινάει από τους 17 °C. Αν υπάρχει κάποιο κατασκευαστικό τέχνασμα, ώστε η συμπύκνωση να μην επηρεάζει τα δομικά στοιχεία, καθώς και τη θερμική άνεση των ενοίκων, τότε η θερμοκρασία εισαγωγής μπορεί να εισαχθεί και ακόμα χαμηλότερη, στο επίπεδο των 15 °C. Αυτό βέβαια είναι αρκετά ιδεατό και δε συνιστάται, αφού δύσκολα θα μπορέσει να βρεθεί και να μεταφερθεί νερό τέτοιας θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους και μέσω αντλίας να διατηρήσει αυτές του τις ιδιότητες.

Όσον αφορά το επάνω όριο της θερμοκρασίας των 22 °C, αυτό είναι λογικό να αποτελεί τη χειρότερη λύση, αφού θερμοκρασίες μεγαλύτερες αυτής δε θα προκαλέσουν αξιόλογη μετάδοση θερμότητας. Άλλωστε, όπως έχει αναφερθεί και στη σχέση (2), όλες οι μορφές μεταφοράς και μετάδοσης θερμότητας εξαρτώνται ευθέως αναλόγως από τη διαφορά θερμοκρασίας. Άρα, μεγαλύτερη θερμοκρασία θα συνεπάγεται άμεσα μικρότερο ποσό απαγόμενης θερμότητας και συνεπώς δε θα επιτυγχάνει το στόχο του το σύστημα δροσισμού.

Αξίζει να σημειωθεί, πως για θερμοκρασίες μικρότερες των 18 °C, το υβριδικό σύστημα δροσισμού GWCooling μπορεί να αντικαταστήσει τελείως τον κλιματισμό προσφέροντας πολύ καλές συνθήκες θερμικής άνεσης στους ενοίκους με έναν αρκετά πιο φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Η παραπάνω διαπίστωση ισχύει για κλίματα όχι τόσο θερμά όπως του Καΐρου, αλλά για πιο μεσογειακά, όπως της Αθήνας και ακόμα περισσότερο της Θεσσαλονίκης. Σε κάθε περίπτωση όμως, μια τέτοια εφαρμογή φαντάζει αρκετά καλή αν αναλογιστεί κανείς άλλες μεθόδους δροσισμού που δεν επιτυγχάνουν τόσο χαμηλές θερμοκρασίες χώρου.

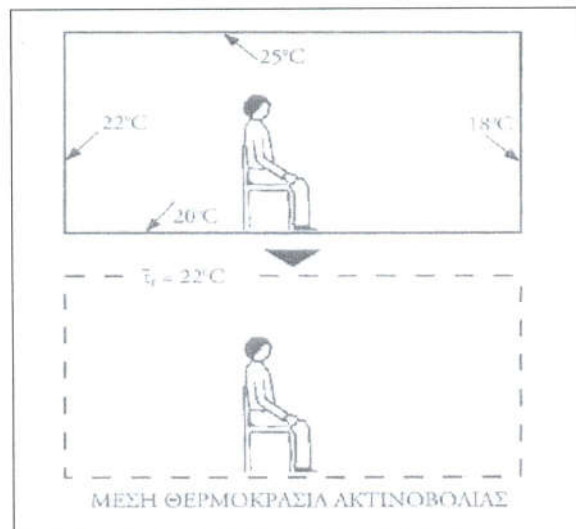
C. Θερμοκρασία ορισμού του θερμοστάτη

Ο θερμοστάτης του κλιματισμού και ο θερμοστάτης του συστήματος GWCooling είναι δύο διαφορετικοί θερμοστάτες. Διαφέρουν μεταξύ τους κατά ένα βαθμό, και αυτό συμβαίνει διότι λειτουργώντας το σύστημα δροσισμού GWCooling ελαττώνεται η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας⁷.

Αυτή η θερμοκρασία, είναι πολύ σημαντική στον έλεγχο της θερμικής άνεσης, καθώς μπορεί να αναιρέσει το πρόβλημα της υψηλής θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα. Αυτό δικαιολογείται επειδή το ανθρώπινο σώμα αντιλαμβάνεται τις ενεργειακές ανταλλαγές με το περιβάλλον και όχι την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Άρα, αν οι περιβάλλουσες επιφάνειες μπορούν να προσφέρουν στον άνθρωπο ένα πιο δροσερό περιβάλλον, τότε το αίσθημα της δυσφορίας περιορίζεται σημαντικά. Αυτό είναι κυρίως και το μεγαλύτερο όφελος από το συγκεκριμένο σύστημα δροσισμού, ότι δηλαδή καταφέρνει και μειώνει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας, διατηρώντας πάντα μια ισορροπία μεταξύ θερμοκρασίας αέρα και μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, συνθήκη αρκετά σημαντική για τον προσδιορισμό της θερμικής άνεσης.

Ο θερμοστάτης του συστήματος GWCooling, λοιπόν, είναι αυτός που ορίζεται στο βασικό παράθυρο δεδομένων, ενώ ως θερμοκρασία θερμοστάτη του κλιματιστικού ορίζεται η προηγούμενη τιμή συν έναν βαθμό Κελσίου. Άρα, αν π.χ. ο θερμοστάτης ορισθεί στην τιμή 26 °C, τότε το σύστημα GWCooling θα αρχίσει να λειτουργεί για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 26 °C, ενώ η κλιματιστική μονάδα θα αρχίσει να λειτουργεί μόνο πυροσβεστικά όταν η θερμοκρασία του χώρου ξεπεράσει τους 27 °C και το σύστημα δροσισμού δεν καταφέρει να περιορίσει την άνοδο αυτή της θερμοκρασίας. Άλλωστε, λόγω της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας, ο χώρος για τους ενοίκους θα είναι σαν να βρίσκεται έναν βαθμό χαμηλότερα από ότι υπολογίζεται από το SUNCODE.

⁷ Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η μέση τιμή θερμοκρασίας των περιβαλλουσών επιφανειών, αφού οι τιμές αυτές αξιολογηθούν και σχετιστούν με έναν παράγοντα σημαντικότητας που λαμβάνει υπόψη το εμβαδόν, την ικανότητα εκπομπής θερμότητας και την σχετική γωνία της επιφάνειας. Λόγω της απλότητας της μελέτης, ως μέση θερμοκρασία θα χρησιμοποιηθεί η **βαρομετρική μέση θερμοκρασία**, η θερμοκρασία δηλαδή που λαμβάνεται από τις επιφάνειες επί έναν συντελεστή βαρύτητας λόγω εμβαδού. (Thermal Analysis for Summer Comfort in Buildings, Santamouris & Asimakopoulos, University of Athens, p. 140)



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση της σημασίας της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας. Ο άνθρωπος αισθάνεται μια θερμοκρασία η οποία αποτελείται από τις θερμοκρασίες των επιμέρους περιβαλλουσών επιφανειών

Η τιμή του θερμοστάτη επηρεάζει άμεσα την κατανάλωση του κλιματιστικού, αφού ταυτόχρονα αυξάνεται η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου. Μάλιστα, η σχέση μεταξύ τους είναι κάτι παραπάνω από άμεση, καθώς η κατανάλωση αυξάνει δυσανάλογα με τη θερμοκρασία του θερμοστάτη. Άρα, θα ήταν άστοχο να χρησιμοποιηθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κλιματισμού, αφού αφενός θα προκαλούσαν αίσθηση ψύχους στους ενοίκους και αφετέρου θα απαιτούσαν τεράστια ποσά ενέργειας για την επίτευξη του απαιτούμενου επιπέδου θερμοκρασίας.

4. Σύνοψη κεφαλαίου – συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρθηκε στα είδη των παραμέτρων που επηρεάζουν το κτίριο και την ενεργειακή του κατάσταση. Οι παράμετροι αυτοί ήταν κατασκευαστικής και γενικής φύσης, πράγμα που άμεσα τις διαχώριζε.

Η πρώτη ομάδα, οι κατασκευαστικοί παράμετροι, περιελάμβαναν την επιφάνεια εναλλαγής, τη διάμετρο των σωληνώσεων και την παρουσία ή όχι κλιματιστικής μονάδας. Η μελέτη έδειξε πως, η επιφάνεια εναλλαγής επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα την κατανάλωση της κλιματιστικής μονάδας, ενώ η διάμετρος

των σωληνώσεων δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την κατανάλωση. Η ισχύς του κλιματιστικού επηρεάζει την κατανάλωσή του, αφού για μικρές ισχείς υπάρχει μικρότερη κατανάλωση, χωρίς όμως να καλύπτονται απαραίτητα οι θερμοκρασιακοί περιορισμοί που έχουν τεθεί. Άρα, είναι ένα μέγεθος που θα επηρεάσει κυρίως την οικονομική βιωσιμότητα του εγχειρήματος και όχι τόσο την ενεργειακή κατάσταση

Στη δεύτερη ομάδα, οι παράμετροι έχουν να κάνουν με τη λειτουργία του συστήματος και συγκεκριμένα η παροχή μάζας του νερού είναι αντιστρόφως ανάλογη της κλιματιστικής μονάδας, ενώ ανάλογη είναι η σχέση θερμοκρασίας εισαγωγής του νερού στις σωληνώσεις με την ενεργειακή κατανάλωση της κλιματιστικής μονάδας. Η θερμοκρασία κλιματισμού (ή δροσισμού) επηρεάζει και αυτή την κατανάλωση του κλιματισμού, αν και αυτή η παράμετρος επιδρά με τον ίδιο τρόπο και σε οικίες όπου δεν υπάρχει εγκατεστημένο το σύστημα δροσισμού GWCooling.

Τα αποτελέσματα, με μορφή διαγραμμάτων και με τη συνοδεία επεξηγήσεων θα παρατεθούν στη συνέχεια, για να καλυφθούν τυχόν απορίες σχετικά με το ρόλο των παραμέτρων στη δημιουργία του απαραίτητου, για τη θερμική άνεση, περιβάλλοντος.

Αποτελέσματα προσομοίωσης

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

1. Σύγκριση συμβατικής κατάστασης και συστήματος GWCooling	134
A. Θερμοκρασία χώρου.....	134
B. Σχετική υγρασία.....	136
C. Δείκτες θερμικής άνεσης.....	137
D. Ενέργεια που δαπανάται	139
2. Παραμετρική ανάλυση του συστήματος GWCooling	144
A. Επιφάνεια εναλλαγής.....	144
B. Παροχή μάζας	145
C. Διάμετρος των αγωγών.....	146
D. Θερμοκρασία εισαγωγής του νερού	147
3. Σύγκλιση τιμών και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων	148
A. Σύγκλιση τιμών κατά τα βήματα της προσομοίωσης.....	149
B. Σύγκριση τιμών από SUNCODE και κώδικα.....	150
4. Σύνοψη κεφαλαίου, συμπεράσματα	151

1. Σύγκριση συμβατικής κατάστασης και συστήματος GWCooling

Όπως έχει προαναφερθεί, η συγγραφή του κώδικα και το σύνολο της μελέτης έγινε για δύο λόγους. Ο πρώτος αφορά τη σύγκριση μιας συμβατικής κατοικίας που κλιματίζεται μέσω μιας κλιματιστικής μονάδας (Air Condition) με την ίδια κατοικία που έχει εγκατεστημένο και εν λειτουργία το σύστημα δροσισμού GWCooling σε συνδυασμό με μια κλιματιστική μονάδα. Ο δεύτερος αφορά τον παραμετρικό έλεγχο των διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος GWCooling.

Η σύγκριση για την πρώτη περίπτωση έγινε για κάποιες προεπιλεγμένες τιμές των παραμέτρων GWCooling και για μονάδα κλιματισμού 12.000 BTU/h. Η διαδικασία ξεκίνησε με την εκτέλεση μιας φοράς του αρχείου GWCooling.exe για τις κάτωθι τιμές παραμέτρων, που από εδώ και στο εξής θα αναφέρονται ως default τιμές:

Επιφάνεια εναλλαγής	: 30 m ²
Παροχή μάζας νερού	: 0,3 kg/sec
Διάμετρος σωληνώσεων	: 0,02 m
Θερμοκρασία εισόδου νερού	: 19 °C
Ισχύς κλιματιστικού	: 12.000 BTU/h
Θερμοκρασία θερμοστάτη	: 26 °C

Οι τιμές που αναφέρθηκαν παραπάνω επιλέχθηκαν ως τυπικές τιμές παραμέτρων που χρησιμοποιούνται και αναλύεται ο τρόπος σκέψης για την πράξη αυτή σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Όλα τα διαγράμματα που ακολουθούν δείχνουν την ανάλυση για είκοσι μία περίπου ημέρες (500 ώρες) αρχίζοντας από την ώρα 1.700 (18:00 της 10/7) και τελειώνοντας την ώρα 2.200 (15:00 της 31/7). Αυτή η επιλογή έγινε τυχαία και για χρονικό διάστημα τέτοιο ώστε να διακρίνονται ευκρινώς όλα τα αποτελέσματα στο μέσο περίπου της θερινής περιόδου.

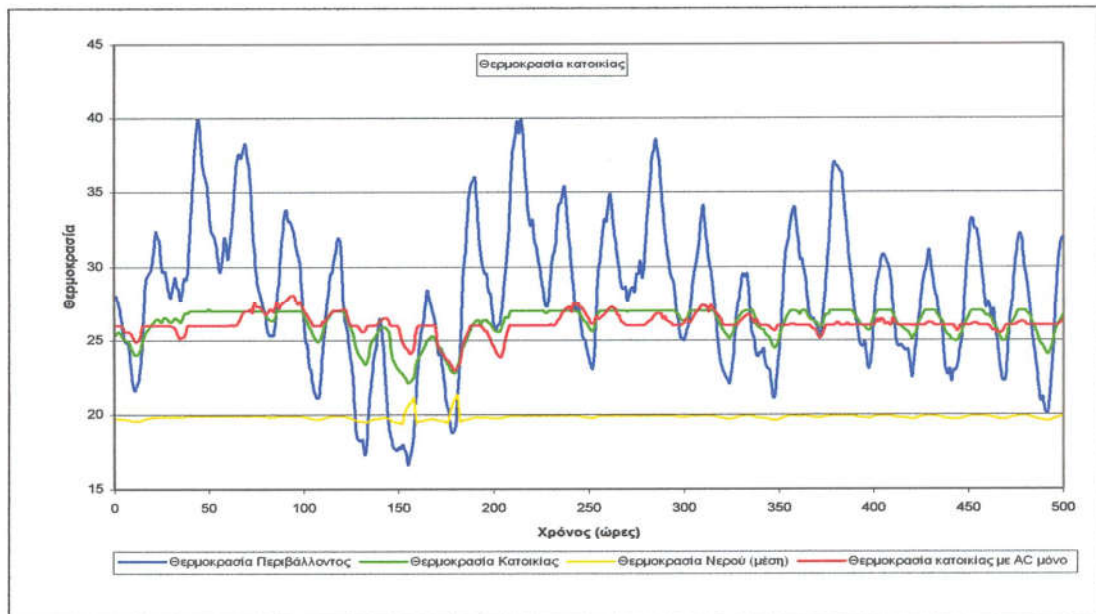
Α. Θερμοκρασία χώρου

Τα αποτελέσματα δείχνουν μια σαφώς πολύ καλή εικόνα, με τη θερμοκρασία του χώρου να βρίσκεται σε πολύ καλά επίπεδα και μόνο σε 10 από τις συνολικά 3600 ώρες της περιόδου να μην καταφέρνει να περιοριστεί σε τιμές κάτω των 27 °C, θερμοκρασία που έχει επιλεγεί να λειτουργεί η βοηθητική κλιματιστική μονάδα. Μάλιστα, η υψηλότερη θερμοκρασία είναι 27,3 °C, πράγμα που αποδεικνύει τη

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

χρησιμότητα του συστήματος και τη συμβολή του στη διαμόρφωση ενός πιο ανεκτού κλίματος.

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπει κανείς τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος, χώρου και νερού (με μπλε, πράσινο και κίτρινο χρώμα αντίστοιχα) που δίνει το πρόγραμμα για το τελικό βήμα της σύγκλισης. Διακρίνονται καθαρά κάποια μέγιστα θερμοκρασίας του νερού όταν το σύστημα GWCooling δε λειτουργεί και τείνει να ακολουθήσει τη θερμοκρασία του χώρου. Αυτό είναι λογικό, καθώς όταν το σύστημα δε λειτουργεί δεν υπάρχει είσοδος ψυχρού νερού από τη γεώτρηση και το ήδη υπάρχον νερό αρχίζει εκθετικά να μη διαφοροποιεί τη συμπεριφορά του από αυτήν του υποκάτω κατοικήσιμου χώρου.



Διάγραμμα 1. Θερμοκρασίες περιβάλλοντος, χώρου και νερού παρουσία του συστήματος GWCooling, καθώς και η θερμοκρασία του χώρου για κλιματιζόμενο χώρο (χωρίς το σύστημα δροσισμού δηλαδή)

Το σύστημα δροσισμού φαίνεται ότι λειτουργεί ακόμα και κάποιες ώρες που η θερμοκρασία του χώρου είναι χαμηλότερη από αυτή του θερμοστάτη. Αυτό ερμηνεύεται με την παραδοχή που είχε γίνει σε προηγούμενο κεφάλαιο σχετικά με το θερμοστάτη του GWCooling συστήματος. Σύμφωνα με αυτή την παραδοχή, το σύστημα θα δουλεύει τις ώρες που η θερμοκρασία της κατοικίας θα είναι μεγαλύτερη

από αυτήν του θερμοστάτη, για απουσία όμως οποιουδήποτε συστήματος δροσισμού και κλιματισμού.

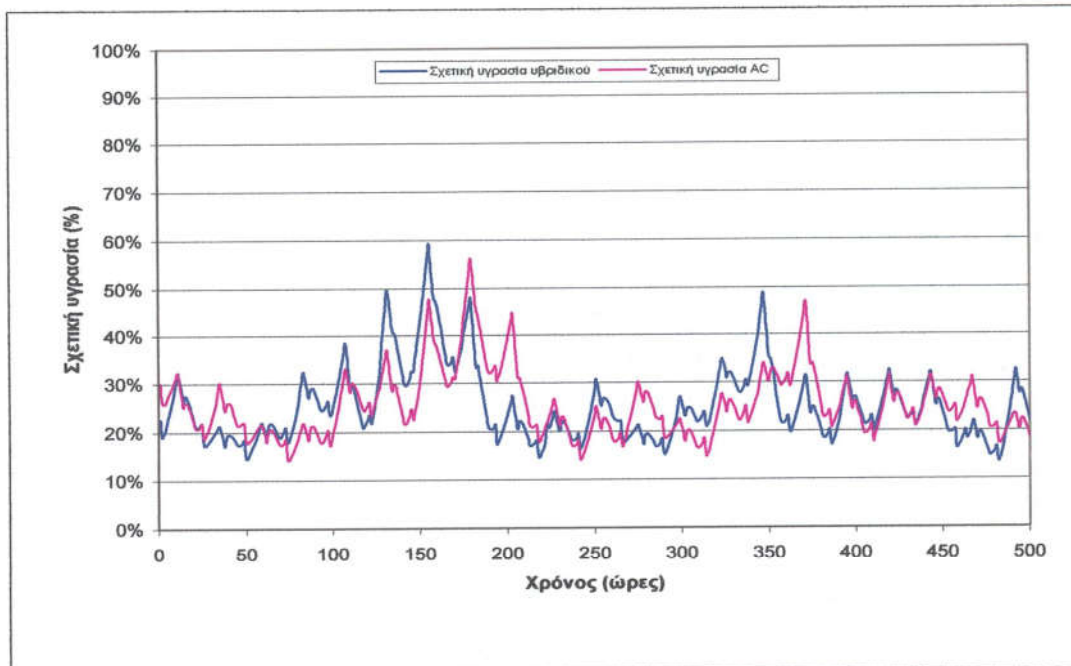
Αυτή η παραδοχή έγινε διότι στην πραγματικότητα το ανοιγοκλείσιμο του κλιματιστικού και του συστήματος δροσισμού γίνεται δυναμικά και ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν εκείνη τη στιγμή στο χώρο. Όμως, σε τέτοια περίπτωση, η προσομοίωση θα αναγκαζόταν σε έπ' άπειρο επαναλήψεις, αφού η βήμα προς βήμα διαδικασία παράγει αποτελέσματα που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του χώρου του προηγούμενου βήματος και τη θερμοκρασία του νερού του τωρινού βήματος. Με αυτό τον τρόπο παράγεται αναντιστοιχία μεταξύ των βημάτων, δείχνοντας ότι απαιτείται δροσισμός ενώ στην πραγματικότητα η θερμοκρασία του νερού δίνεται μεγαλύτερη.

Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται και η θερμοκρασία του χώρου για το ίδιο κτίριο όταν υπάρχει μόνο το σύστημα του δροσισμού (κόκκινο χρώμα). Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μια διαφορά στη θερμοκρασία του χώρου για τις δύο καταστάσεις (με και χωρίς το GWCooling) όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι αρκετά υψηλή. Αυτό συμβαίνει διότι το κλιματιστικό έχει επιλεγεί να λειτουργεί μόνο όταν η θερμοκρασία του χώρου υπερβεί κατά έναν βαθμό αυτή του θερμοστάτη. Η θεώρηση αυτή ισχύει, αφού η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι μικρότερη στην περίπτωση του GWCooling.

Γενικότερα, όμως, η θερμοκρασία δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές με τις αντίστοιχες αυτών χωρίς το σύστημα δροσισμού.

β. Σχετική υγρασία

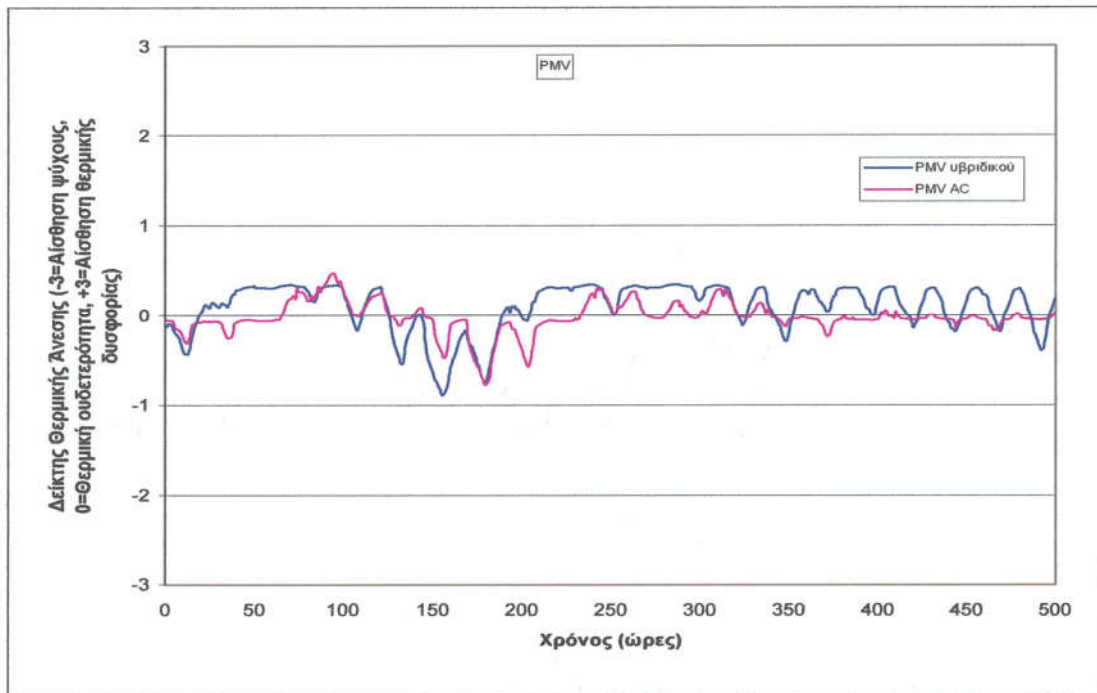
Η σχετική υγρασία δε θα επηρεάζεται άμεσα από την ύπαρξη ή όχι του συστήματος δροσισμού. Η διαφορά που φαίνεται σε κάποια σημεία οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας που παρουσιάζεται εκείνες τις ώρες μέσα στο κτίριο. Μάλιστα, όσο η θερμοκρασία του χώρου της περίπτωσης του GWCooling είναι μεγαλύτερη από αυτή του μεμονωμένου κλιματιστικού, τόσο η σχετική υγρασία υπολείπεται της αντίστοιχης. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει αυτή τη διαφορά που μόλις σχολιάστηκε:



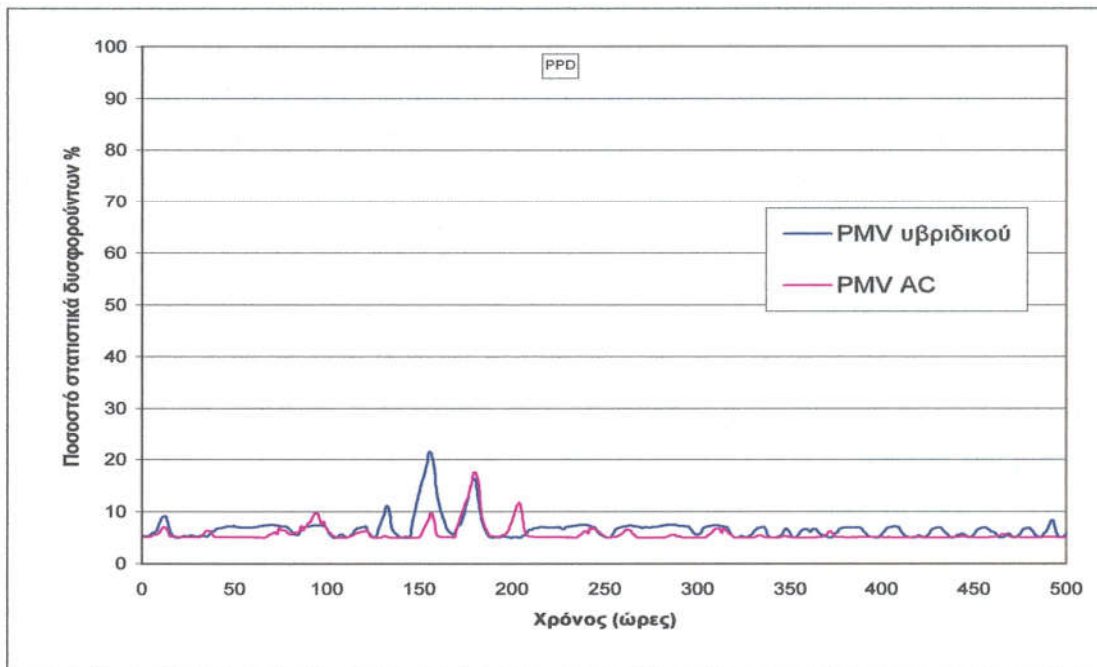
Διάγραμμα 2. Σύγκριση σχετικής υγρασίας

C. Δείκτες θερμικής άνεσης

Οι δείκτες θερμικής άνεσης που σχολιάστηκαν σε άλλο κεφάλαιο παρουσιάζουν με αριθμητικό τρόπο τη θερμική άνεση που αισθάνεται το μεγαλύτερο μέρος των ανθρώπων όταν βρεθούν σε συνθήκες θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ένδυσης και μεταβολισμού με αυτές που ορίζονται κάθε ώρα. Ο δείκτης PMV έχει κλίμακα από -3 έως +3 με τις αρνητικές τιμές να αντιπροσωπεύουν το κρύο και τις θετικές τιμές τη ζέστη. Η τιμή 0 είναι η ιδεατή τιμή και το σύστημα κλιματισμού και δροσισμού θα πρέπει να προσπαθεί να την επιτύχει. Ο δείκτης PPD δίνει το ποσοστό των δυσφορούντων ατόμων στις συγκεκριμένες συνθήκες. Τα δύο διαγράμματα που ακολουθούν σκιαγραφούν τις συνθήκες που επικρατούν ανάλογα με τη θερμική άνεση των ενοίκων:



Διάγραμμα 3. Προβλεπόμενη μέση ψήφος (PMV)



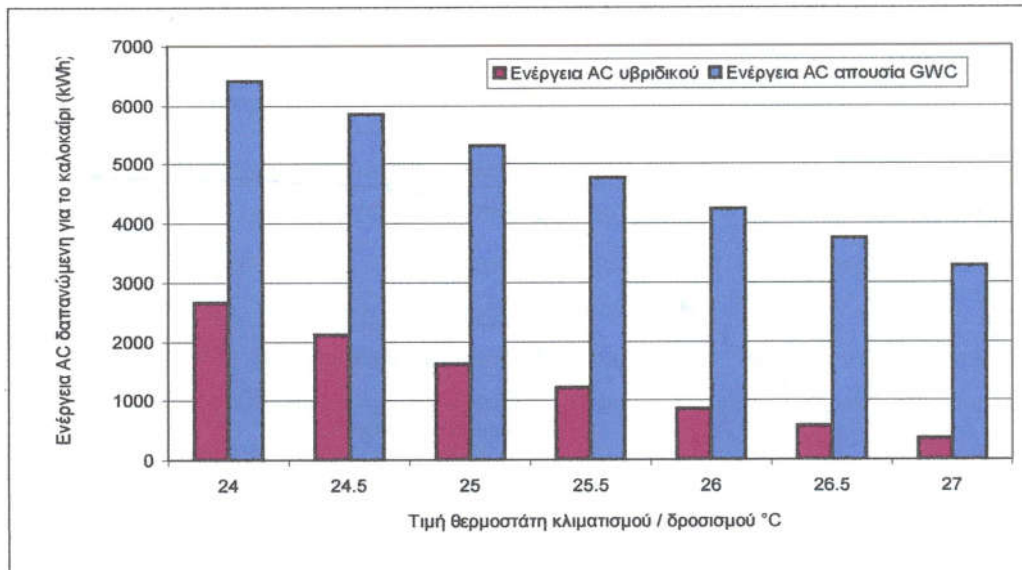
Διάγραμμα 4. Ποσοστό δυσφορούντων ατόμων (PPD)

Γενικότερα, μπορεί να παρατηρηθεί πως οι συνθήκες με την παρουσία μόνο ενός κλιματιστικού είναι ελαφρώς καλύτερες, πάντως δεν απέχουν και οι δύο από τη βέλτιστη κατάσταση που ορίζει η τιμή $PMV = 0$. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι ακόμα και στις ώρες όπου παρατηρείται καλύτερη θερμική άνεση στην κατάσταση του κλιματιστικού μόνο, αυτή οφείλεται στη μεγαλύτερη επιτρεπόμενη θερμοκρασία χώρου στην περίπτωση του GWCooling. Βέβαια, η ύπαρξη του συστήματος δροσισμού δίδει μια άλλη διάσταση στην έννοια της άνεσης, η οποία προφανώς δεν απεικονίζεται με το βέλτιστο τρόπο στα διαγράμματα.

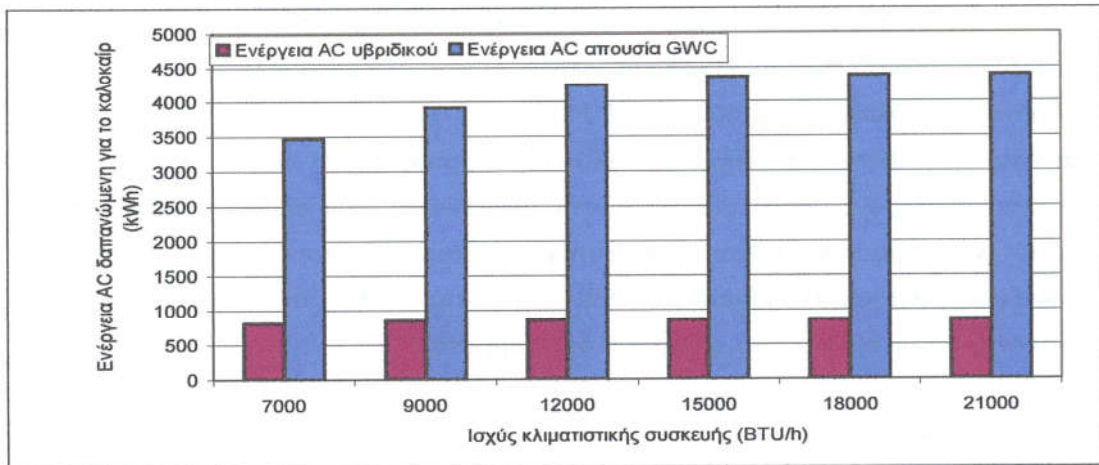
Δ. Ενέργεια που δαπανάται

Αναμφίβολα, με την παράλληλη λειτουργία GWCooling και AC, η ενέργεια που χρειάζεται το κλιματιστικό πλέον για να λειτουργήσει είναι μικρότερη. Μάλιστα, το ποσοστό της ενέργειας που εξοικονομείται είναι πολύ μεγάλο και αξίζει να γίνει μια ανάλυση για την εύρεση της σχέσης που συνδέει την κατανάλωση του κλιματιστικού στις δύο περιπτώσεις που υπάρχει ή όχι το σύστημα δροσισμού συναρτήσει της ισχύος του κλιματιστικού και της θερμοκρασίας του θερμοστάτη.

Ακολουθούν δύο διαγράμματα, το ένα δείχνει την επίδραση του θερμοστάτη και το άλλο την επίδραση της ισχύος του κλιματιστικού στην κατανάλωση ενέργειας της κλιματιστικής μονάδας.

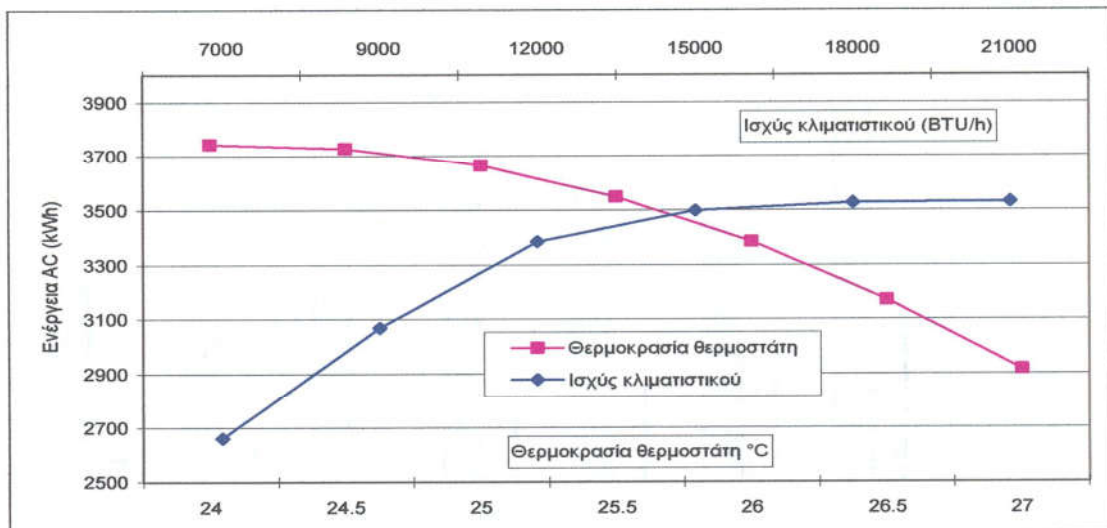


Διάγραμμα 5. Σχέση θερμοστάτη κλιματισμού / δροσισμού και δαπανώμενης ενέργειας

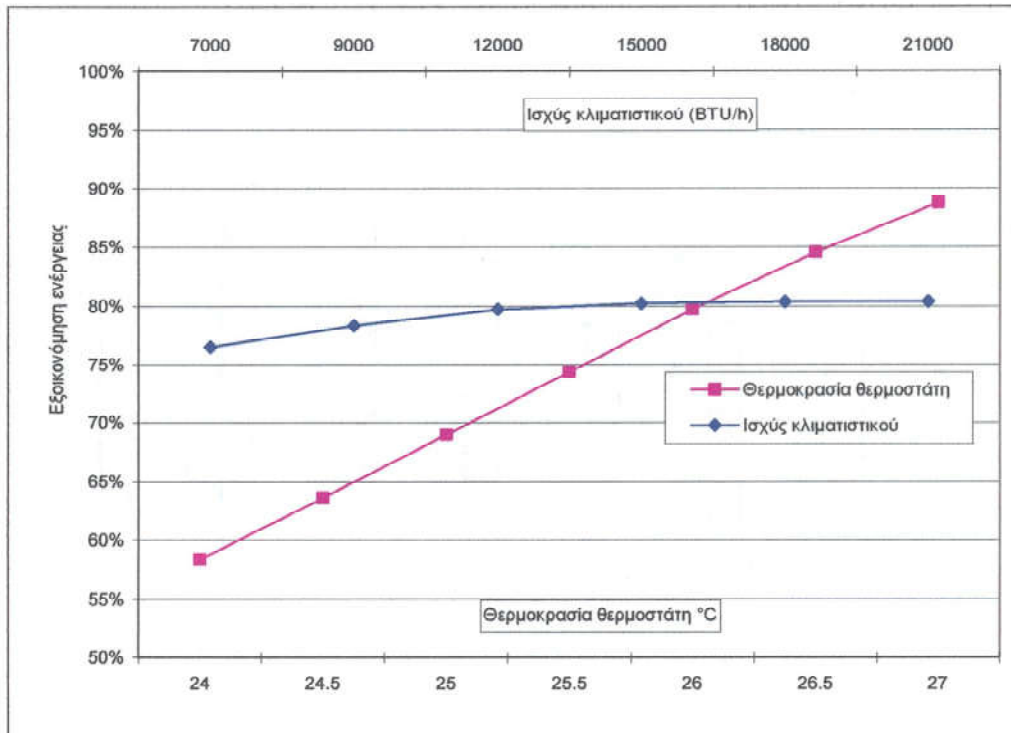


Διάγραμμα 6. Σχέση ισχύος κλιματιστικού και δαπανώμενης ενέργειας

Όπως διαπιστώνεται, η κατανάλωση μεταξύ των δύο περιπτώσεων είναι εμφανώς διαφορετική, με το σύστημα GWCooling να προκαλεί εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης των 2650 – 3750 kWh ανά περίοδο, ανάλογα με ποια παράμετρος μεταβάλλεται. Αυτό φαίνεται πιο καθαρά στα παρακάτω δύο διαγράμματα, το ένα εκ των οποίων δίνει την εξοικονομηθείσα ενέργεια και το άλλο το ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας σε σχέση με τη θερμοκρασία θερμοστάτη και την ισχύ του κλιματιστικού αντίστοιχα.



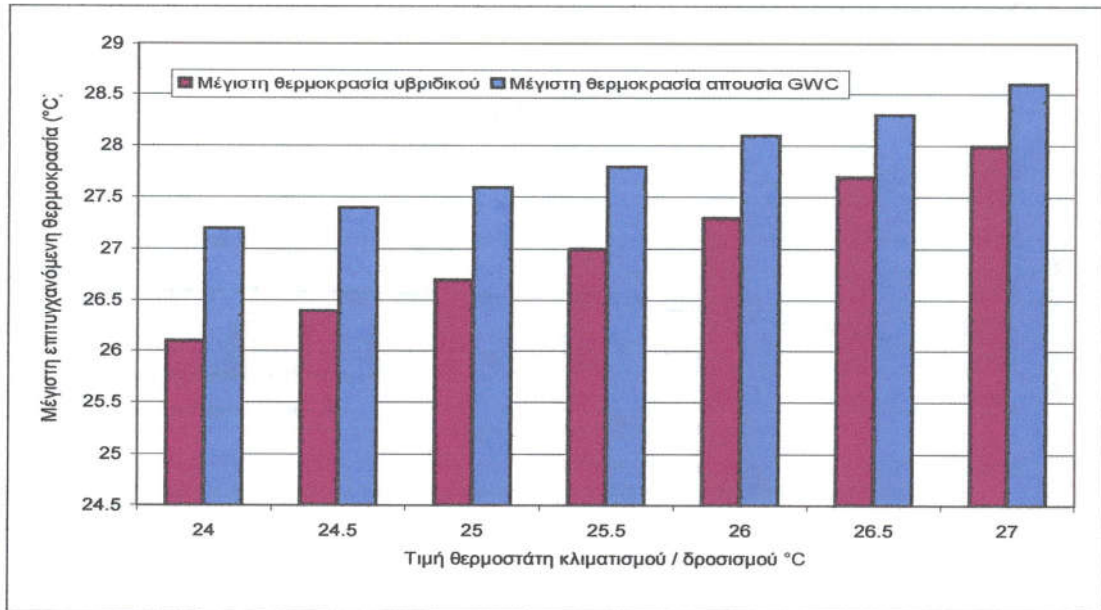
Διάγραμμα 7. Εξοικονομηθείσα ενέργεια που οφείλεται σε μεταβολή του θερμοστάτη κλιματισμού / δροσίσιμου και ισχύος του κλιματιστικού



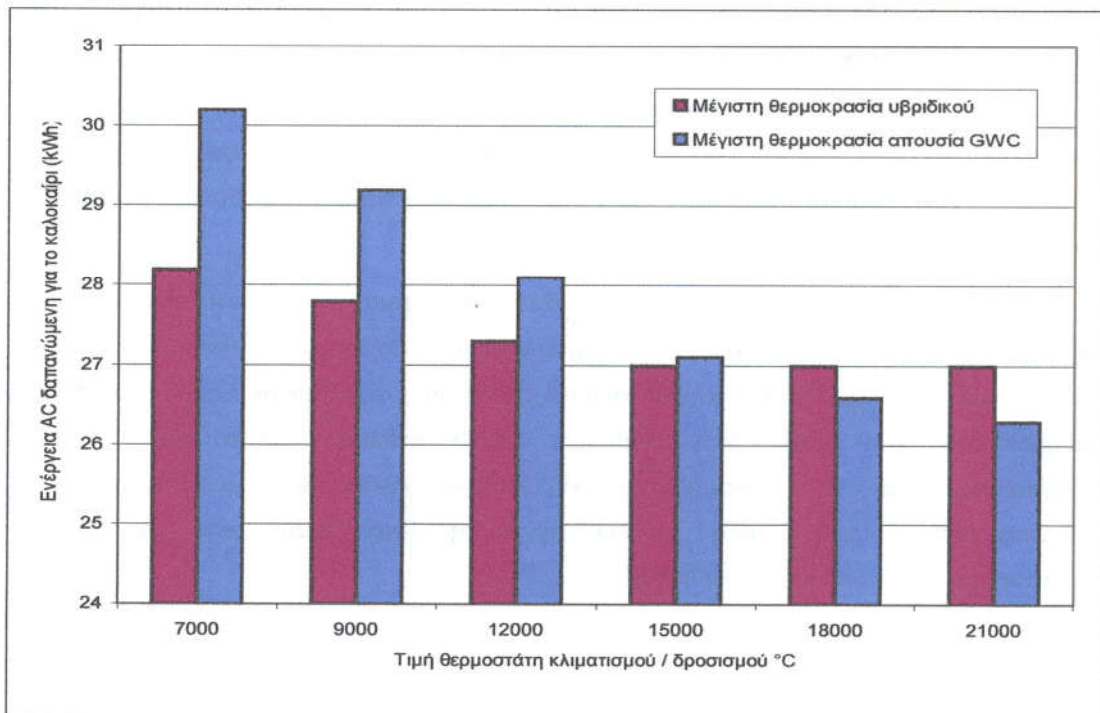
Διάγραμμα 8. Ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που οφείλεται σε μεταβολή του θερμοστάτη κλιματισμού / δροσίσιμου και ισχύος του κλιματιστικού

Στο δεύτερο από τα δύο αυτά διαγράμματα φαίνεται ότι η εξοικονόμηση ενέργειας αυξάνει όσο αυξάνει η θερμοκρασία του θερμοστάτη, ενώ η ισχύς του κλιματιστικού παραμένει σχεδόν σταθερή με μεταβολή της ισχύος του κλιματιστικού, όπως φαίνεται στο πρώτο διάγραμμα.

Στη συνέχεια ακολουθούν άλλα δύο διαγράμματα, τα οποία δείχνουν τη μέγιστη θερμοκρασία του χώρου που σημειώνεται σε σχέση με τη θερμοκρασία του θερμοστάτη και την ισχύ του κλιματιστικού, για τα δύο συστήματα. Όπως φαίνεται, η θερμοκρασία του θερμοστάτη επηρεάζει σχεδόν ισόποσα και το σύστημα του κλιματισμού και το σύστημα του GWCooling. Αυτό είναι λογικό, αφού η κλιματιστική μονάδα ξεκινάει τη λειτουργία της έναν βαθμό μετά την έναρξη λειτουργίας του συστήματος δροσίσιμου.



Διάγραμμα 9. Θερμοκρασία κλιματισμού και μέγιστη θερμοκρασία του χώρου

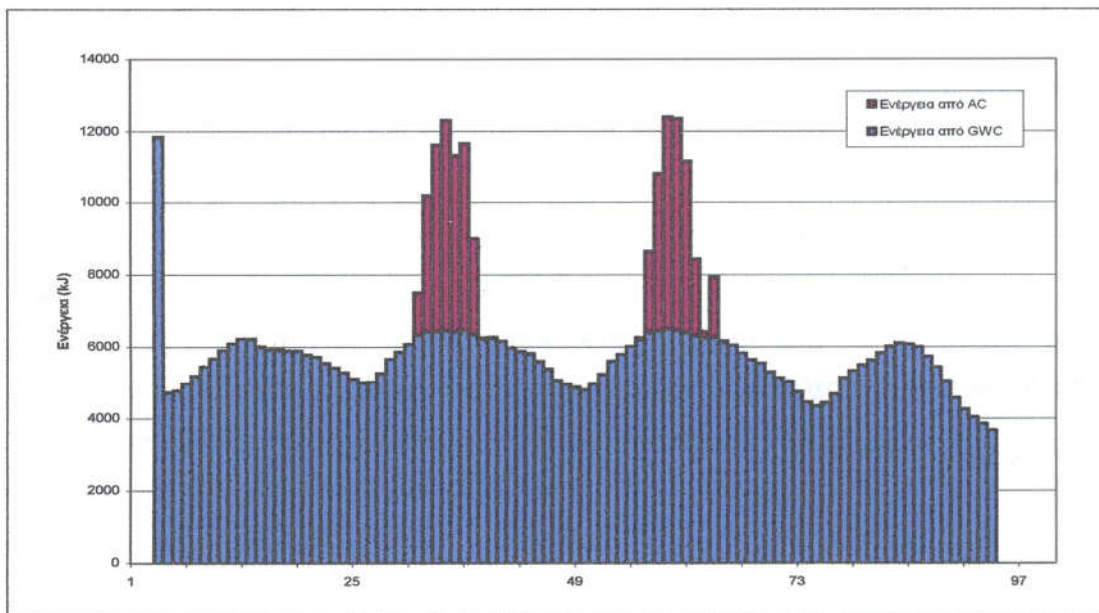


Διάγραμμα 10. Ισχύς κλιματιστικού και μέγιστη θερμοκρασία του χώρου

Παρόλα αυτά, η ισχύς του κλιματιστικού παρουσιάζει διαφοροποιημένα αποτελέσματα, αφού αποδεικνύει πως ούτε καν το κλιματιστικό με τη μεγαλύτερη ισχύ (24.000 BTU/h) δεν μπορεί να επιτύχει την απαιτούμενη θερμοκρασία του θερμοστάτη (εδώ 26 °C). Για το σύστημα GWCooling, όμως, η θερμοκρασία έχει ένα εύρος όπου μπορεί να κινηθεί ενός βαθμού, για αυτό και φαίνεται πως στις μεγάλες ισχύεις το υβριδικό, πλέον, σύστημα λειτουργεί επαρκώς.

Στις μικρότερες, όμως, ισχύεις, το κλιματιστικό αποτυγχάνει πλήρως να περιορίσει τη θερμοκρασία κάτω από την προβλεπόμενη, εκτοξεύοντας τη θερμοκρασία σε επίπεδα 2 °C υψηλότερη αυτής του υβριδικού συστήματος (αγγίζει τους 30,2 °C).

Τέλος, στο διάγραμμα 11 μπορεί να διακριθεί η κάλυψη του βασικού φορτίου κλιματισμού από το σύστημα GWCooling, ενώ το κλιματιστικό λειτουργεί πυροσβεστικά όταν εξαντλείται η ισχύς του συστήματος δροσισμού.



Διάγραμμα 11. Αθροιστική ενέργεια από το σύστημα GWCooling (βασικό φορτίο) και το κλιματιστικό (φορτίο αιχμής) για μια «θερμή» περίοδο τεσσάρων ημερών

Να σημειωθεί, πως η αρχική τιμή της ενέργειας του συστήματος δροσισμού είναι λόγω της αρχικής κάλυψης του μεγάλου χάσματος που υπάρχει μεταξύ των δύο ωρών που ανοίγει το σύστημα, ενώ τις υπόλοιπες ώρες το σύστημα απλά συντηρεί

την ψυχρή μάζα του νερού, αφού άλλωστε η θερμοκρασία του χώρου είναι μειωμένη και δεν μπορεί να απορροφηθεί μεγάλο ποσό θερμότητας.

Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και στους επαγωγικούς κινητήρες, οι οποίοι απαιτούν ένα μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, ενώ στη συνέχεια η απαιτούμενη ισχύς συντήρησης των στροφών μειώνεται.

2. Παραμετρική ανάλυση του συστήματος GWCooling

Το σύστημα GWCooling, όμως, μπορεί να μεταβάλλει τη συμπεριφορά του απέναντι στην κατανάλωση του κλιματιστικού μεταβάλλοντας κάποια χαρακτηριστικά του. Αυτά είναι η επιφάνεια εναλλαγής, η παροχή μάζας, η διάμετρος των σωληνώσεων, η θερμοκρασία εισόδου του νερού, η ισχύς του κλιματιστικού και η θερμοκρασία του θερμοστάτη. Αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν διαφορετικά την κατανάλωση του κλιματιστικού, ενώ οι τελευταίες δύο παράμετροι επηρεάζουν και την επιτυγχανόμενη μέγιστη θερμοκρασία.

Άλλωστε, η προσπάθεια εντοπισμού του τρόπου επιρροής της κάθε παραμέτρου στην τελική κατανάλωση έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο και ο αναγνώστης έχει ήδη μια άποψη για τα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν και τον επικείμενο σχολιασμό τους.

Α. Επιφάνεια εναλλαγής

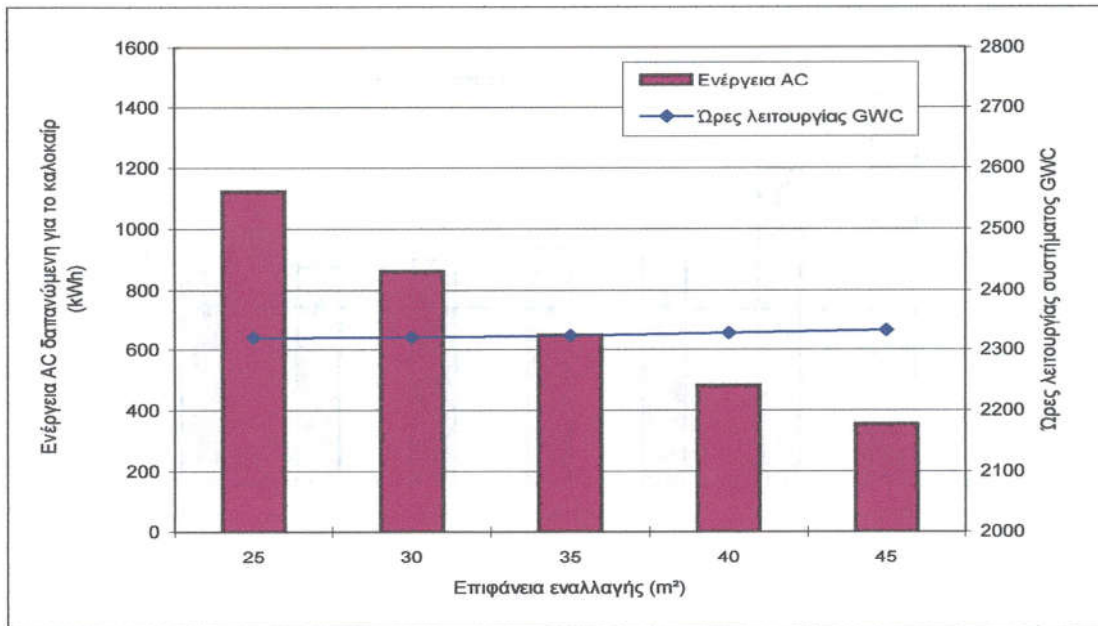
Όπως θα περίμενε κανείς, αύξηση της επιφάνειας εναλλαγής προκαλεί μείωση της κατανάλωσης του κλιματιστικού, και μάλιστα με εκθετικό τρόπο που περιγράφεται με τη σχέση

$$W = 5.4822 \cdot e^{-0.2884 \cdot A} \quad (2)$$

όπου

- W : Το συνολικά δαπανώμενο έργο του κλιματιστικού
 A : Η επιφάνεια εναλλαγής

Τα αποτελέσματα φαίνονται γραφικά και στο παρακάτω διάγραμμα:



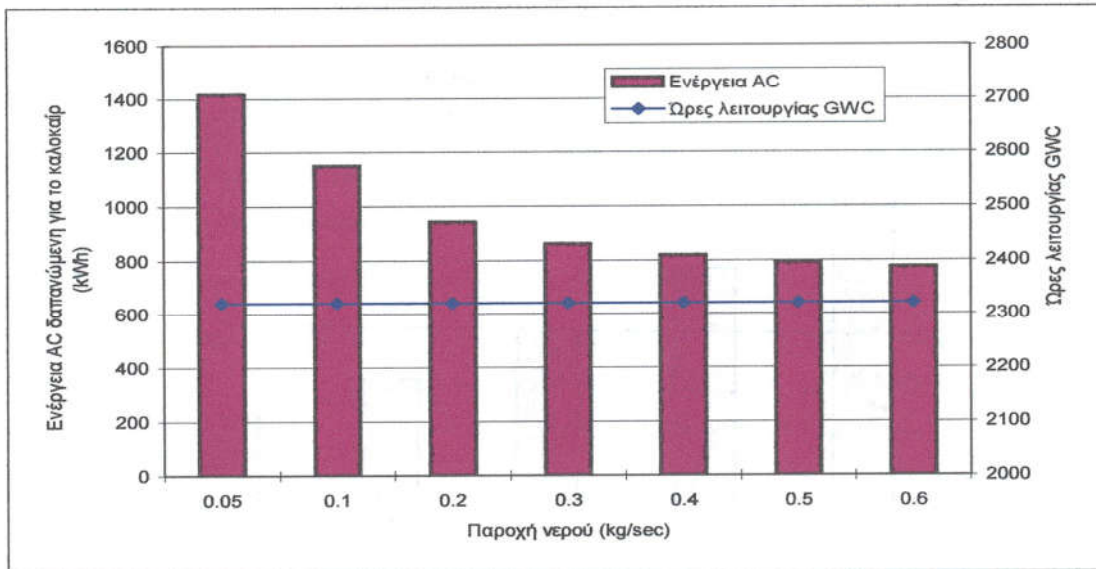
Διάγραμμα 12. Συσχέτιση επιφάνειας εναλλαγής με την κατανάλωση του κλιματιστικού και τις ώρες λειτουργίας του συστήματος GWCooling

Άλλωστε, η αύξηση της επιφάνειας εναλλαγής δεν επηρεάζει δραστικά τις ώρες λειτουργία του συστήματος δροσισμού, αφού, όπως έχει ειπωθεί και νωρίτερα, οι ώρες λειτουργίας εξαρτώνται από ένα προκαταρκτικό τρέξιμο του κώδικα για σπίτι μη κλιματιζόμενο προκειμένου να βρεθούν οι ώρες που θα χρίζουν δροσισμό ή / και κλιματισμό. Η κλίμακα στις ώρες λειτουργίας είναι πολύ μεγάλη για να επιτυγχάνεται σύγκριση των ωρών λειτουργίας που οφείλονται στις διάφορες παραμέτρους. Παρόλα αυτά, σαν τάξη μεγέθους δίνεται το εύρος που κινήθηκαν οι ώρες λειτουργίας για τη συγκεκριμένη παράμετρο ίσο με 0,5 %.

β. Παροχή μάζας

Όπως και η επιφάνεια εναλλαγής, έτσι και η παροχή μάζας, επηρεάζει την κατανάλωση σε μεγάλο βαθμό, και αυτό διότι η αύξηση της παροχής αυξάνει και την ισχύ του ιδεατού «κλιματιστικού», του συστήματος GWCooling δηλαδή, από τον τύπο

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \tag{3}$$



Διάγραμμα 13. Συμβολή της παροχής του νερού στην κατανάλωση του κλιματιστικού

Άρα αυξάνεται η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει το νερό, συνεπώς η κατανάλωση μπορεί να μειωθεί και μάλιστα με σχεδόν λογαριθμικό τρόπο:

$$W = 2.12738 - 0.9245 \cdot \ln(\dot{m}) \quad (4)$$

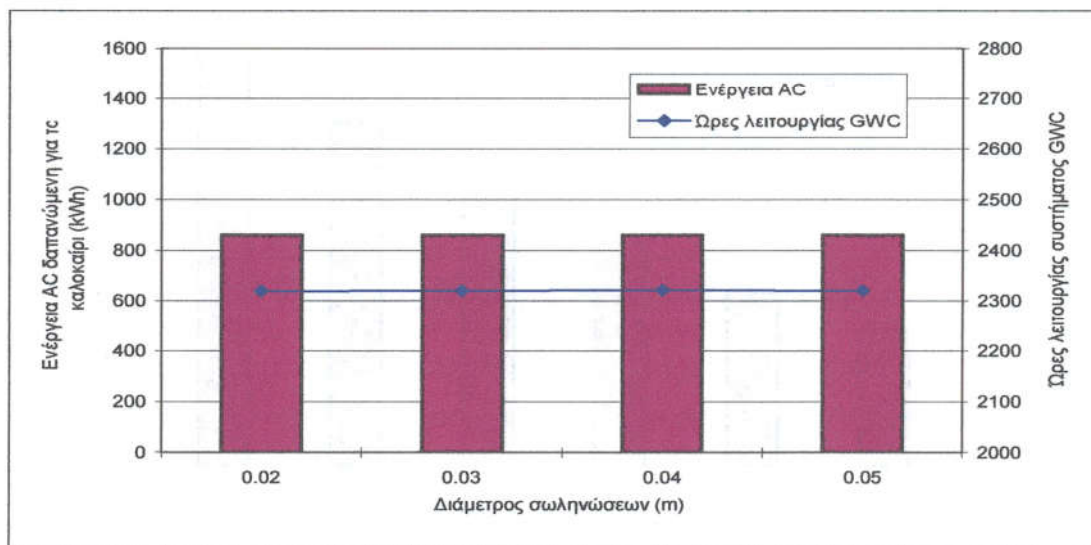
όπου

\dot{m} : Η παροχή του νερού

Άλλωστε, όπως έχει λεχθεί και πιο νωρίς, η μεγάλη παροχή ευνοεί και την αξιοπιστία του κώδικα, αφού μειώνεται ο χρόνος που χρειάζεται το παραμένον νερό στους αγωγούς να εξέλθει.

C. Διάμετρος των αγωγών

Η διάμετρος των αγωγών δεν παίζει σχεδόν κανένα ρόλο στη διαμόρφωση της κατανάλωσης του κλιματιστικού και των συνολικών ωρών λειτουργίας του συστήματος δροσισμού. Αυτό φαίνεται καθαρά στο παρακάτω διάγραμμα, όπου και οι δυο μεταβλητές παραμένουν σταθερές κατά τη μεταβολή της διαμέτρου.



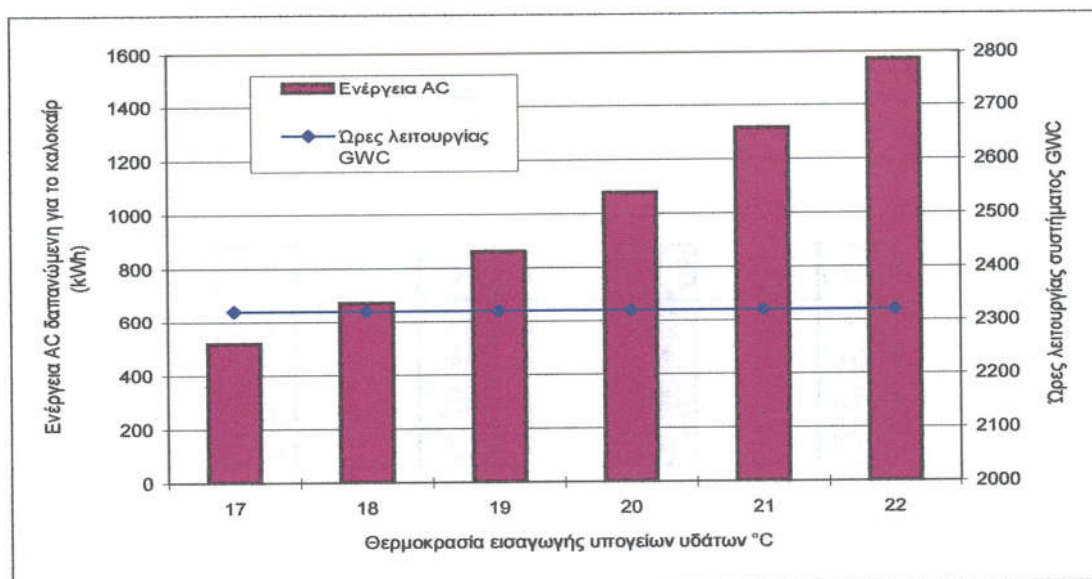
Διάγραμμα 14. Μεταβολή της κατανάλωσης του AC και των ωρών λειτουργίας του GW Cooling συναρτήσει της μεταβολής της διαμέτρου

Παρόλα αυτά, θα πρέπει να σημειωθεί πως, λόγω της αύξησης της διαμέτρου και της σταθερής, κατά τα άλλα, επιφάνειας εναλλαγής, θα αυξηθεί ο όγκος του νερού και συνεπώς και το βάρος του. Αυτό παραπέμπει σε μεγαλύτερα προβλήματα στατικότητας, αλλά από την άλλη όψη του νομίσματος μειώνει κατά πολύ την πτώση πίεσης εντός των αγωγών.

Αυτή όμως η παράμετρος (η πτώση πίεσης) θα εξεταστεί σε επόμενο κεφάλαιο όπου η πτώση πίεσης θα διαμορφώνει την ισχύ της αντλίας κυκλοφορίας, και άρα πλέον θα γίνεται άμεση η σύγκριση μεταξύ ενέργειας του κλιματιστικού και ενέργειας του υβριδικού συστήματος GW Cooling. Επίσης, θα ακολουθήσει και οικονομοτεχνική μελέτη για τη συνολική βιωσιμότητα του εγχειρήματος.

Φ. Θερμοκρασία εισαγωγής του νερού

Η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού της γεώτρησης στους σωλήνες του συστήματος δροσισμού είναι η πιο σημαντική παράμετρος στην επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση ενέργειας, και ο λόγος είναι κάτι παραπάνω από προφανής. Η χαμηλή θερμοκρασία του νερού επιτρέπει στο τελευταίο να παραλαμβάνει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας και συνεπώς μειώνει την αντίστοιχη δαπανώμενη ενέργεια του κλιματιστικού.



Διάγραμμα 15. Σχέση μεταβολής θερμοκρασίας εισαγωγής - κατανάλωσης κλιματιστικής μονάδας

Οι συνολικές ώρες λειτουργίας δεν επηρεάζονται από τη θερμοκρασία εισαγωγής λόγω της απουσίας αυτής της παραμέτρου στο πρώτο βήμα της προσομοίωσης.

Επειδή, όμως, η θερμοκρασία αυτή είναι μια παράμετρος που δεν μπορεί να ελεγχθεί παρά μόνο για τη συγκεκριμένη περίπτωση κάθε φορά, τα αποτελέσματα εξοικονόμησης θα εξαρτώνται από τον εκάστοτε χώρο εγκατάστασης του κτιρίου και συνεπώς και της γεώτρησης.

Άλλωστε, λόγω της νευραλγικότητας της συγκεκριμένης παραμέτρου (παρατηρείται για εύρος θερμοκρασιών 5 °C μια μεταβολή 1050 kWh), η θερμοκρασία εισαγωγής πολλές φορές θα είναι και η παράμετρος που θα κρίνει την εγκατάσταση ή όχι του συστήματος GWCooling.

3. Σύγκλιση τιμών και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων

Σημαντικό ρόλο σε κάθε μελέτη παίζει και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Έτσι, θα πρέπει να ελεγχθούν τα αποτελέσματα αν συνάδουν με ρεαλιστικές τιμές και αν μπορούν να στηριχθούν βάσει τύπων ή διαγραμμάτων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η προσπάθεια υποστήριξης των αποτελεσμάτων. Η προσπάθεια αυτή θα διαιρεθεί σε δύο υποενότητες, μία που θα περιλαμβάνει τη σύγκλιση των τιμών της

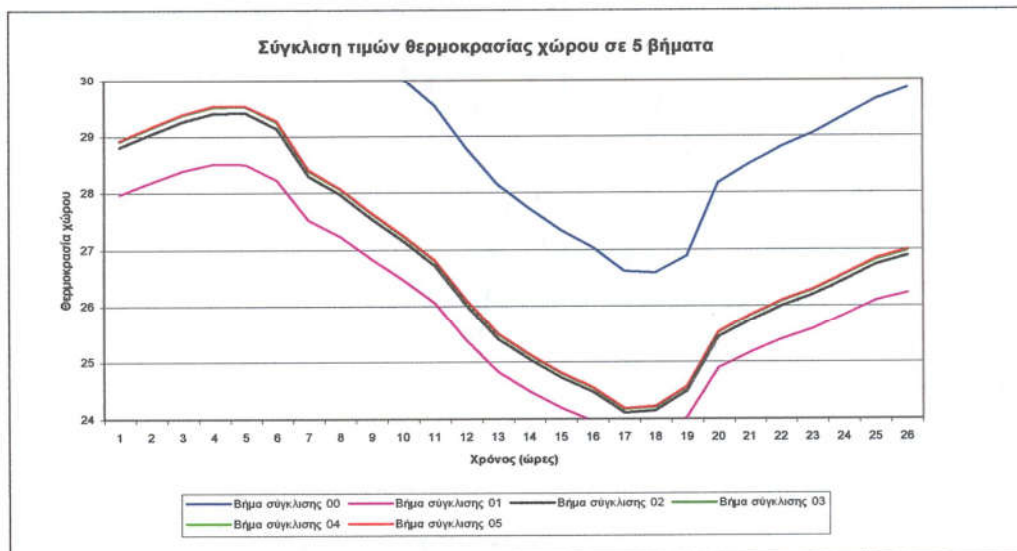
θερμοκρασίας του χώρου σε σχέση με τα βήματα της προσομοίωσης και άλλη μία που θα συγκρίνει τις τιμές των αποτελεσμάτων μεταξύ του SUNCODE και του κώδικα.

Α. Σύγκλιση τιμών κατά τα βήματα της προσομοίωσης

Είναι πολύ σημαντικό σε μια διαδικασία προσομοίωσης, και μάλιστα σε μια επαναληπτική διαδικασία, να υπάρχει σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Αυτό δίνει αξία στην προσομοίωση, αφού δίνει ένα πρώτο δείγμα ότι τα αποτελέσματα είναι αληθοφανή. Σε μια σειρά βημάτων, όπου η τιμή μιας παραμέτρου δίνεται ως αποτέλεσμα προηγούμενου βήματος στο προσεχές, και μετατρέπεται έτσι σε δεδομένο ενός βήματος που ως αποτέλεσμα θα δώσει το δεδομένο του πρώτου βήματος, η σύγκλιση είναι απαραίτητη.

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση, η τιμή στην οποία θα πρέπει να γίνει η σύγκλιση είναι αυτή του κλιματιζόμενου χώρου. Αυτό γίνεται διότι η εν λόγω θερμοκρασία είναι ένα πραγματικό μέγεθος που ελέγχεται συνεχώς από τους ενοίκους και εκφράζει, εν μέρει, τη θερμική άνεση του κτιρίου.

Το παρακάτω διάγραμμα περιγράφει τη διαδικασία της σύγκλισης σε μια περίοδο 26 ωρών και με κατάλληλη κλίμακα έτσι ώστε να φανεί η σύγκλιση μεταξύ των βημάτων. Πράγματι, μετά από το 2^ο βήμα η σύγκλιση έχει σχεδόν επιτευχθεί με αυξημένη ακρίβεια.



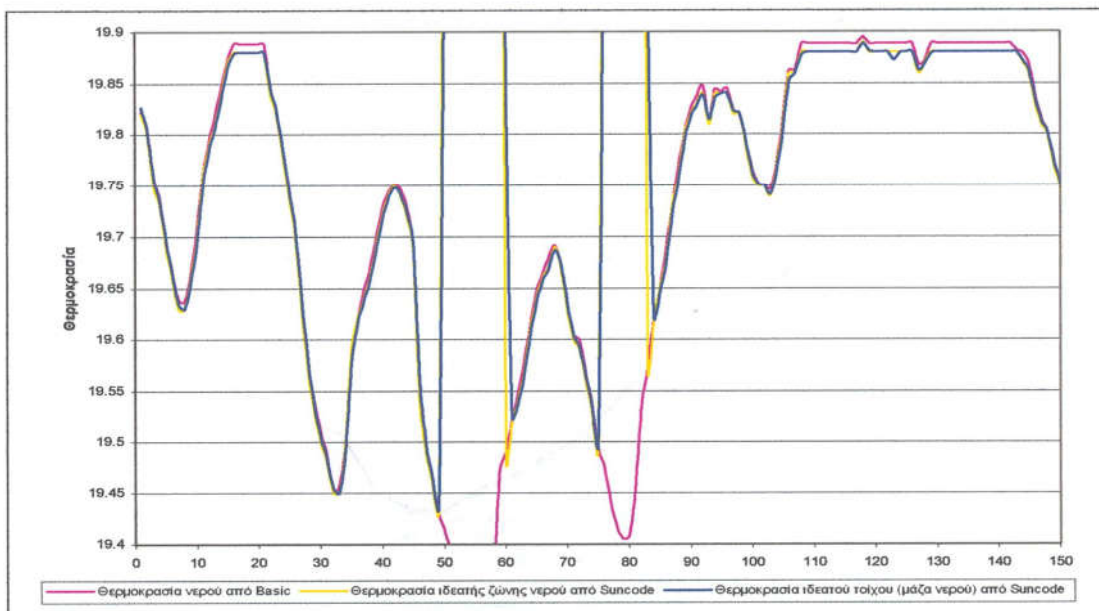
Διάγραμμα 16. Σύγκλιση τιμών θερμοκρασίας χώρου

Η σύγκλιση γίνεται στη μέση τιμή της απόλυτης θερμοκρασίας χώρου για όλες τις ώρες της περιόδου κλιματισμού (Μάιος – Σεπτέμβριος). Η μέση αυτή τιμή θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0,01 °C για να θεωρηθεί επιτυχής η προσομοίωση. Μεγαλύτερη σύγκλιση (μικρότερη δηλαδή επιθυμητή ακρίβεια) είναι περιττή, αφού με τα δεδομένα αυτά, η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας που παρουσιάζεται μεταξύ δύο βημάτων είναι της τάξης των 0,3 °C. Άρα από αυτή την άποψη η προσομοίωση θεωρείται αρκετά επιτυχημένη.

β. Σύγκριση τιμών από SUNCODE και κώδικα

Η σύγκριση τιμών από διαφορετικές πηγές δίνει ένα ακόμα σημείο αξιοπιστίας του κώδικα και της όλης διεργασίας. Στην προκειμένη περίπτωση, οι διαφορετικές πηγές είναι το SUNCODE και ο κώδικας. Αν και τα δύο αυτά τμήματα συνδέονται άρρηκτα, η θερμοκρασία του νερού που υπολογίζει το κάθε τμήμα στηρίζεται σε διαφορετικό αλγόριθμο και η σύγκλισή τους είναι κάτι το επιθυμητό.

Πράγματι, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, οι θερμοκρασίες που δίνει το SUNCODE για την ιδεατή ζώνη του νερού, καθώς και για τον ιδεατό τοίχο του νερού συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με τις αντίστοιχες τιμές που υπολογίζει ο κώδικας.



Διάγραμμα 17. Σύγκριση τιμών από το SUNCODE και τον κώδικα

Το SUNCODE χρησιμοποιεί πλήθος εξισώσεων για τα ισοζύγια ενέργειας που λαμβάνουν χώρα στο κτίριο, ενώ ο κώδικας αξιοποιεί τη θερμοκρασία του χώρου του κτιρίου για να υπολογίσει τη θερμοκρασία εξόδου του νερού. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία του νερού που εξάγει ο κώδικας χρησιμοποιείται ως δεδομένο στο SUNCODE, ενώ το αντίστροφο γίνεται για τη θερμοκρασία του χώρου που από αποτέλεσμα του SUNCODE χρησιμοποιείται στον κώδικα.

4. Σύνοψη κεφαλαίου, συμπεράσματα

Το παρόν κεφάλαιο παρουσίασε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και έγινε η προσπάθεια δικαιολόγησής τους. Μέσω διαγραμμάτων, τύπων και αναφορών τα αποτελέσματα αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν ανάλογα. Τα παρακάτω εξαγόμενα είναι η ουσία όλων των έως τώρα αναφερθέντων:

1. Το σύστημα GWCooling λειτουργεί πολύ καλά εν συγκρίσει με τη μεμονωμένη κλιματιστική μονάδα και παράγει παρόμοιες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.
2. Η επιφάνεια εναλλαγής, η παροχή μάζας και η θερμοκρασία εισόδου του νερού επηρεάζουν μέγιστα την κατανάλωση του κλιματιστικού
3. Η διάμετρος των αγωγών δεν επηρεάζει την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου
4. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνει η θερμοκρασία του θερμοστάτη, ενώ είναι σχεδόν σταθερή για μεταβολή της ισχύος του κλιματιστικού
5. Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας από 58 % έως 89 %, εξαρτώμενη από τις παραμέτρους.
6. Το σύστημα GWCooling λειτουργεί ικανοποιητικά και προσφέρει παρόμοιες συνθήκες θερμικής άνεσης, αν συνδυαστεί και με κλιματιστική μονάδα. Μάλιστα, η βοηθητική κλιματιστική μονάδα μπορεί να είναι πολύ μικρής ισχύος, και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί και να παραλειφθεί για τη λειτουργία μόνο του συστήματος δροσισμού.

Οικονομοτεχνική μελέτη

Περιεχόμενα κεφαλαίου:

I.	Ανάλυση ενεργειακής κατανάλωσης.....	154
Α.	Κατανάλωση υβριδικού συστήματος.....	154
Β.	Κατανάλωση κλιματιστικού συστήματος.....	163
C.	Ενεργειακή σύγκριση των δύο συστημάτων.....	163
2.	Μελέτη οικονομικής βιωσιμότητας.....	164
Α.	Κόστος εγκατάστασης.....	164
Β.	Λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης.....	168
C.	Μέθοδος καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ).....	169
3.	Εξέταση του συστήματος GWCooling ως αυτόνομο σύστημα κλιματισμού.....	171
Α.	Ενεργειακή σύγκριση.....	174
Β.	Οικονομική σύγκριση.....	174
C.	Διάρκεια αποπληρωμής.....	175
4.	Οικονομική αποτίμηση.....	175

I. Ανάλυση ενεργειακής κατανάλωσης

Για να στηριχθεί μια μελέτη ενός ενεργειακού συστήματος θα πρέπει να γίνει και η αντίστοιχη τεχνική μελέτη, μια έρευνα, δηλαδή, κατανάλωσης ενέργειας από τα δύο ενεργειακά συστήματα που συγκρίνονται. Η κατανάλωση ενέργειας θα στηριχτεί στα αποτελέσματα του SUNCODE και σε πίνακες αντλιών.

Η μελέτη έχει γίνει για το κτίριο που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και για την πόλη της Αθήνας. Τα προγράμματα GWCooling.exe και AC.exe, που δημιουργήθηκαν για να προσομοιώνουν το σύστημα δροσισμού ή κλιματισμού (ή και τα δύο ταυτόχρονα), έχουν τη δυνατότητα προσομοίωσης και για άλλες τρεις πόλεις, για τη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα και το Κάιρο. Αν και το Κάιρο θα ήταν μια πολύ ενδιαφέρουσα περίπτωση για να εξεταστεί, δυστυχώς δεν μπορεί να γίνει οικονομοτεχνική μελέτη διότι δεν είναι γνωστές οι τιμές της ηλεκτρικής kWh, των κλιματιστικών και των χαλκοσωλήνων στην πόλη αυτή.

Α. Κατανάλωση υβριδικού συστήματος

Η κατανάλωση του συστήματος που περιλαμβάνει παράλληλη λειτουργία του συστήματος GWCooling και μιας κλιματιστικής μονάδας θα δίνεται από το άθροισμα της κατανάλωσης του συστήματος δροσισμού και της κατανάλωσης του κλιματιστικού.

Κατανάλωση κλιματιστικής μονάδας

Η κατανάλωση του κλιματιστικού δίνεται από τα αποτελέσματα του SUNCODE ως kJ/h. Το άθροισμα της κατανάλωσης αυτής για όλες τις ώρες της περιόδου (3600) θα δώσει και την τελική κατανάλωση του κλιματιστικού και θα παρουσιάζεται στα συνοπτικά αποτελέσματα του Excel. Αυτό το ενεργειακό μέγεθος συνδέεται άμεσα με την επιφάνεια εναλλαγής, την παροχή μάζας, τη θερμοκρασία εισαγωγής του νερού, τη θερμοκρασία του θερμοστάτη και την ισχύ του κλιματιστικού. Όμως, η κατανάλωση αυτή θα πρέπει να μετατραπεί από ψυκτική ενέργεια σε ηλεκτρική¹.

¹ Σύμφωνα Θέρμανση – Αερισμός – Κλιματισμός, Σ. Λέγγα και Ν. Παρίκου, σελ. 298

Συνεπώς, διαιρώντας την ψυκτική ενέργεια με το συντελεστή απόδοσης COP = 2,5² θα βρεθεί η ηλεκτρική κατανάλωση της κλιματιστικής μονάδας.

Κατανάλωση GWCooling

Αντίστοιχα, η κατανάλωση του συστήματος GWCooling θα είναι στην ουσία η κατανάλωση του κυκλοφορητή που θα κινεί το νερό εντός των σωληνώσεων. Αυτή η κατανάλωση θα εξαρτάται από την παροχή μάζας, τη διάμετρο και το μήκος των σωληνώσεων, καθώς και τον αριθμό Reynolds του ρευστού. Ο κώδικας αναλαμβάνει τον υπολογισμό του μανομετρικού ύψους και η παροχή δίνεται ως δεδομένο του συστήματος στην αρχή της προσομοίωσης.

Για το παρόν κεφάλαιο η μελέτη θα εστιαστεί σε έξι περιπτώσεις του συστήματος, κάθε μια εκ των οποίων θα καλύπτει ένα εύρος αποτελεσμάτων. Η πρώτη περίπτωση θα εξετάζει το σύστημα για το μικρότερο δυνατό μήκος σωληνώσεων με τη μικρότερη παροχή, για επιφάνεια εναλλαγής, δηλαδή, 25 m², παροχή μάζας 0.05 kg/sec και διάμετρο 0.05 m. Η δεύτερη περίπτωση αναφέρεται στο default σύστημα, έτσι όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, για όλες τις διαμέτρους που δίνονται στη φόρμα του προγράμματος. Η τρίτη περίπτωση αναφέρεται στο μεγαλύτερο δυνατό μήκος σωληνώσεων με τη μεγαλύτερη παροχή, για επιφάνεια εναλλαγής, δηλαδή, 45 m², παροχή μάζας 0.6 kg/sec και διάμετρο 0.02 m.

² http://www.stibetherm.gr/greek/products/air_conditions_1.html

Για τις έξι ανωτέρω περιπτώσεις έγιναν οι παρακάτω υπολογισμοί:

Πίνακας 1. Οι έξι περιπτώσεις για τις οποίες επιλέχτηκε να γίνει η μελέτη και η σύγκριση

	Διάμετρος (cm)	Μανομετρικό ύψος (m)	Παροχή μάζας (m ³ /h)
1 ^η περίπτωση	5	0,0038	0,18
2 ^η περίπτωση	5	0,09	1,08
3 ^η περίπτωση	4	0,33	1,08
4 ^η περίπτωση	3	1,77	1,08
5 ^η περίπτωση	2	18,99	1,08
6 ^η περίπτωση	2	101,72	2,16

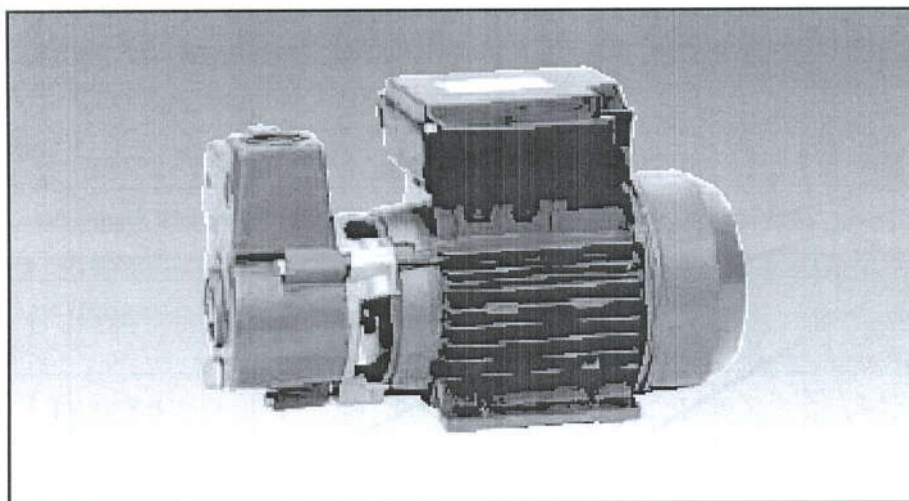
Η μεγαλύτερη διάμετρος σημαίνει μικρότερη κατανάλωση συστήματος όσον αφορά το μανομετρικό ύψος που μειώνεται και αυτό, αφού η μεγαλύτερη διάμετρος μειώνει την πτώση πίεσης λόγω τριβών εντός του αγωγού. Επίσης, το μικρότερο μήκος σωληνώσεων, που περιγράφεται στην πρώτη περίπτωση μειώνει ακόμα περισσότερο την πτώση πίεσης, μειώνοντας όμως παράλληλα και την επιφάνεια εναλλαγής. Συνεπώς, η πρώτη περίπτωση αναφέρεται στο ιδανικότερο μοντέλο όσον αφορά την πτώση πίεσης και η τελευταία στη χειρότερη, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Σε κάθε περίπτωση, όσον αφορά την κατανάλωση μόνο και όχι την οικονομικότητα του συστήματος προς το παρόν, θα γίνει η προσπάθεια εντοπισμού της βέλτιστης ενεργειακά περίπτωσης.

Παρατηρεί κανείς ότι η διάμετρος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του μανομετρικού ύψους, και μάλιστα όσο το σύστημα απορροφάει μεγαλύτερα ποσά θερμότητας, τόσο οι παράγοντες της κατανάλωσης της αντλίας θα αυξάνουν. Αν και η διάμετρος σαν παράμετρος δεν επηρεάζει την απαχθείσα θερμότητα, επηρεάζει άμεσα την πτώση πίεσης που παρατηρείται. Σε επόμενη ενότητα θα συγκριθούν αυτές οι περιπτώσεις μεταξύ τους και με την περίπτωση όπου δεν υπάρχει το σύστημα GWCooling.

Η επιλογή της αντλίας που θα χρησιμοποιηθεί είναι μία από τα αρχικά μελήματα για την εύρεση της κατανάλωσης. Η εκλογή της στηρίχτηκε σε πίνακες που δίνουν τις δυνατότητες της κάθε αντλίας συναρτήσει του μανομετρικού ύψους και της παροχής.

Στις 4 πρώτες περιπτώσεις το μανομετρικό ύψος επιτρέπει τη χρησιμοποίηση μιας πολύ μικρής αντλίας, ενώ η 5^η και η 6^η περίπτωση απαιτούν μια μεγαλύτερη. Η μελέτη θα περιοριστεί προς το παρόν στις περιπτώσεις 1 – 4 λόγω της κοινής αντλίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, καθώς και στην περίπτωση 5 για λόγους σύγκρισης. Το μανομετρικό ύψος των 102 m της έκτης περίπτωσης με την σχετικά πολύ μικρή παροχή των 2 m³/h δεν επιτρέπει την εκλογή κάποιας αντλίας του εμπορίου και συνεπώς η περίπτωση κρίνεται ασύμφορη και δε μελετάται πλέον.

Για τις περιπτώσεις 1-4 θα χρησιμοποιηθεί μια αντλία που θα έχει τα ελάχιστα χαρακτηριστικά. Αυτή η αντλία έπειτα από μελέτη των διαφόρων χαρακτηριστικών καμπυλών των αντλιών διαφόρων εταιριών αποφασίστηκε να είναι ο τύπος A20/180XM της εταιρίας DAB. Η αντλία αυτή παρουσιάζεται παρακάτω με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την χαρακτηριστική της καμπύλη.

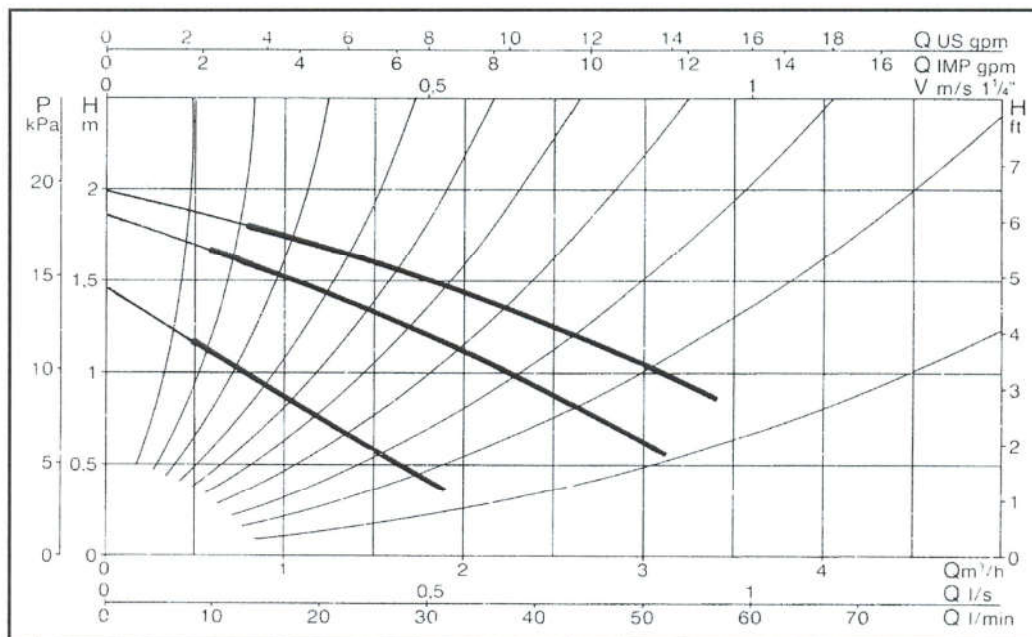


Σχήμα 1. Η αντλία A20/180 XM της εταιρίας DAB

Πίνακας 2. Τεχνικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της αντλίας A20/180 XM

Μοντέλο	Τάση 50 Hz	Απόσταση από το κέντρο mm	Σύνδεσμοι ή φλάντζες	Ηλεκτρικά στοιχεία						Ελάχιστη πίεση κεφαλής
				Ταχύτητα	n r.p.m.	P1 max W	In A	Πυκνωτής		
								μF	Vc	
A20/180 XM	1x230 V	180	1 1/4" F	3	1355	76	0.34	2.5	400	t" + 90 °C m.t.1,5
				2	1205	58	0.27			
				1	935	40	0.19			

Η υπόψιν αντλία θα παρέχει το απαραίτητο μανομετρικό ύψος για τις τρεις πρώτες περιπτώσεις, χωρίς διάκριση όσον αφορά την ισχύ της κάθε μιας περίπτωσης, αφού εμπίπτουν στην πρώτη ταχύτητα, όπως φαίνεται στη χαρακτηριστική της καμπύλη. Η τέταρτη περίπτωση θα καλύπτεται από την τρίτη ταχύτητα οριακά. Άλλωστε, μαζί με την αντλία δεν παρέχονταν και κάποια χαρακτηριστική καμπύλη παροχής – ισχύος. Συνεπώς, για τις τρεις πρώτες περιπτώσεις η ισχύς της αντλίας θα υπολογίζεται ίση με 40 W και για την τέταρτη περίπτωση 76 W.



Σχήμα 2. Χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας A20/180 XM

Όσον αφορά την πέμπτη περίπτωση, αυτή καλύπτεται με μία αντλία εκ των παρακάτω:

1. Τύπος WPm 60A, Μαντεμένη Αντλία της εταιρίας WILO (οριζόντια, αυτόματης αναρρόφησης)
2. Τύπος 70/05M, της εταιρίας EBARA, οριζόντια φυγοκεντρική αντλία
3. Τύπος K 14/400, της εταιρίας DAB, μοναβάθμια και οριζόντια φυγοκεντρική αντλία

Οι εν λόγω αντλίες έχουν ικανότητα παροχής 2, 5 και 39 m³/h αντίστοιχα και μανομετρικού ύψους 35, 23 και 18 m αντίστοιχα, ενώ η ονομαστική ισχύς θα είναι 0,5 PS ή περίπου 0,37 kW. Αν και η βέλτιστη αντλία για τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι αυτή της εταιρίας WILO, εντούτοις δεν υπάρχει συνοδευτική καμπύλη που να δίνει την ισχύ που λειτουργεί συναρτήσει της παροχής, καμπύλες που συνοδεύουν τις άλλες δύο αντλίες. Άρα επιλέγεται η επόμενη αντλία, αυτή της εταιρίας EBARA, η οποία υπερκαλύπτει τις εφαρμογές της αντίστοιχης της WILO.

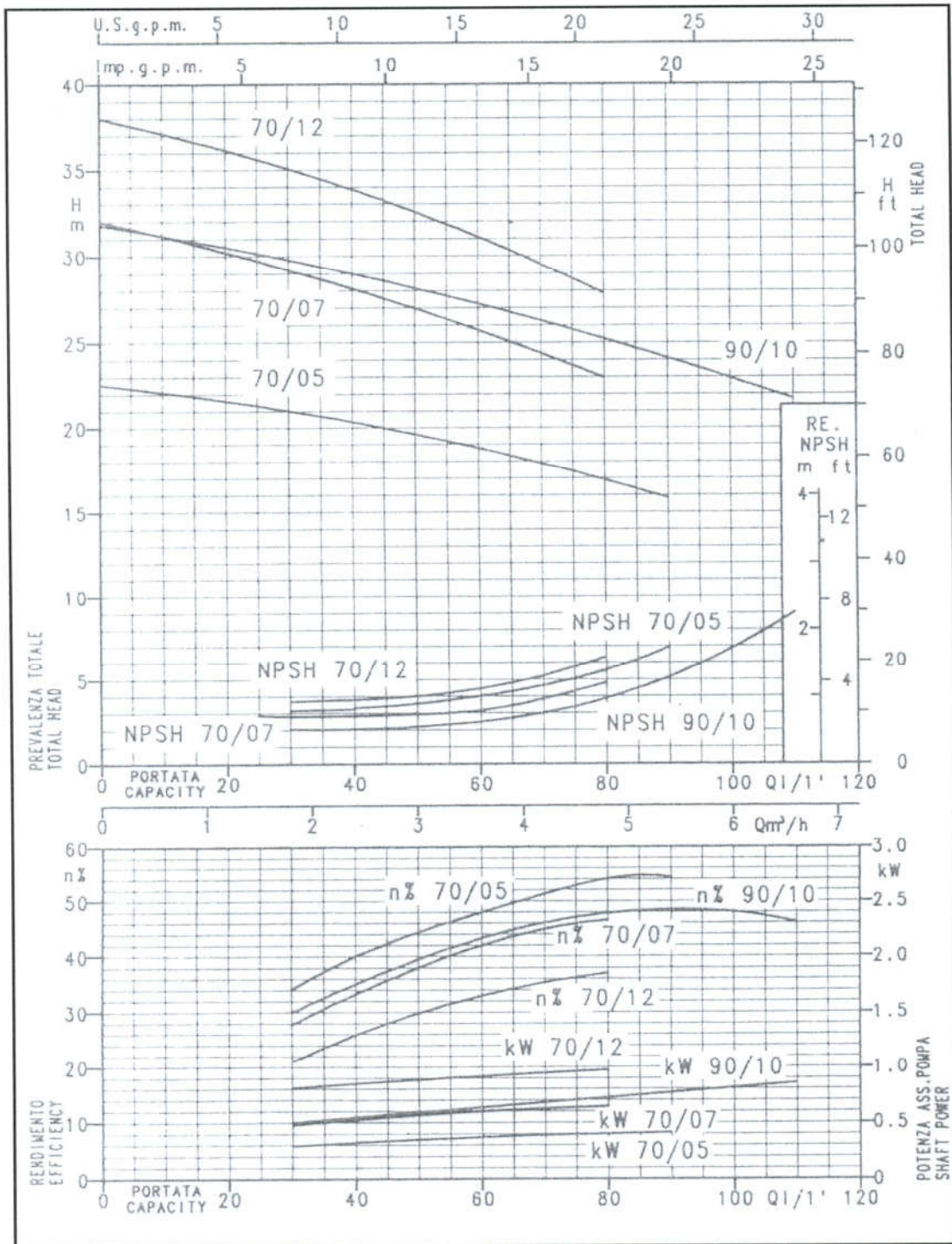
Η περίπτωση που ελέγχεται είναι αυτή του μανομετρικού ύψους 19 m και της παροχής 1 m³/h. Αυτή η περίπτωση βρίσκεται εντός της περιοχής που ελέγχουν οι καμπύλες της συγκεκριμένης αντλίας, άρα η μελέτη θα συνεχιστεί χωρίς άλλη αναφορά σε διαφορετικό τύπο αντλίας.

Παρακάτω δίνεται ο τύπος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας αυτής.

Πίνακας 3. Τεχνικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της αντλίας 70/05M

Τύπος	Στόμια	Πτερωτές	Ισχύς KW	Τάση V	Χωρητικότητα μF	Ρεύμα A	Βάρος kg
70/05M	1'' ¼ X 1''	1	0,37	230	12,5	3,1	9,1

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται και η χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας, καθώς και η καμπύλη παροχής – ισχύος για την εύρεση της ισχύος της αντλίας. Από εκεί θα υπολογιστεί και το συνολικό ποσό ενέργειας που θα δαπανηθεί για όλο το καλοκαίρι. Για μανομετρικό ύψος, όμως, 19 μέτρων και παροχή 1 m³/h, η καμπύλη της ισχύος διακόπτεται.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστική καμπύλη της αντλίας 70/05M

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

Συνεπώς, ως παραδοχή λαμβάνεται η ισχύς της αντλίας για τις παραπάνω παραμέτρους ίση με την ισχύ για το τελευταίο σημείο που υπάρχει τιμή. Αυτό είναι για παροχή 1,8 m³/h και η ισχύς τότε είναι περίπου 300 W.

Συνεπώς, έχοντας και τις συνολικές ώρες λειτουργίας του συστήματος GWCooling για όλο το καλοκαίρι μπορεί πλέον για αυτές τις πέντε περιπτώσεις να υπολογιστεί η δαπανώμενη ανά έτος ενέργεια σε kWh/Έτος.

Πίνακας 4. Δαπανώμενη ενέργεια συναρτήσει της παροχής και του μανομετρικού ύψους, ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας και τον τύπο της αντλίας.

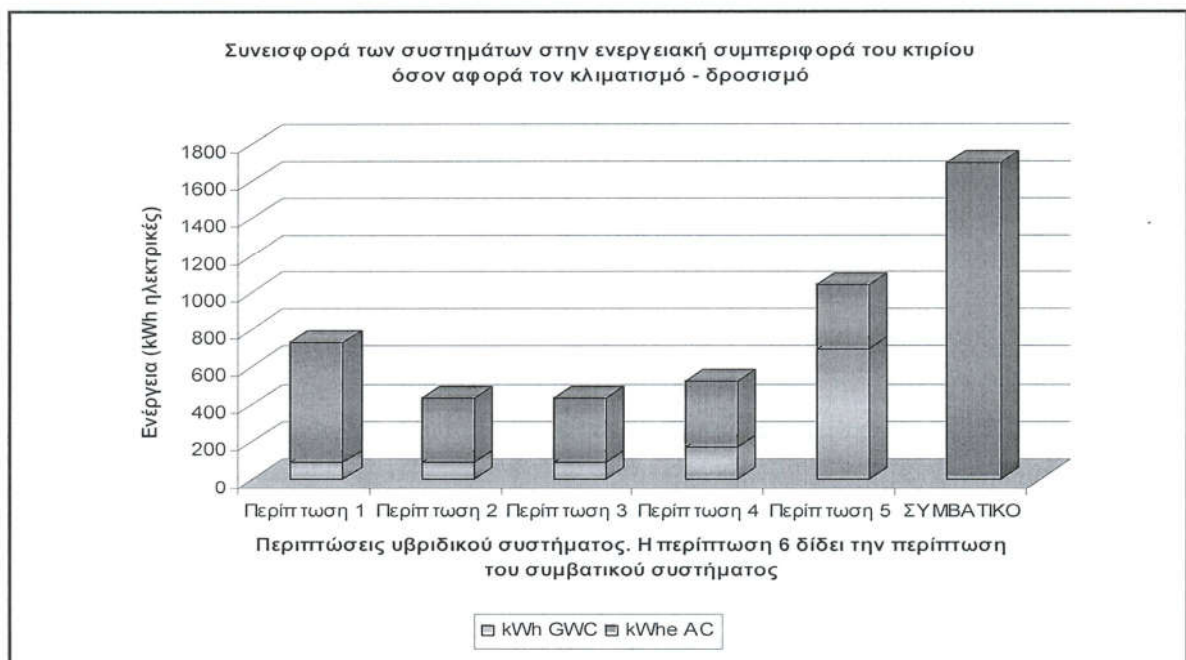
	Μανομετρικό ύψος (m)	Παροχή μάζας (m ³ /h)	Μάρκα και τύπος αντλίας	Ταχύτητα αντλίας	Ωρες λειτουργίας	Δαπανώμενη ενέργεια (kWh/Έτος)
1 ^η περίπτωση	0,0038	0,18	DAB A20/180 XM	1	2316	92.64
2 ^η περίπτωση	0,09	1,08	DAB A20/180 XM	1	2321	92.84
3 ^η περίπτωση	0,33	1,08	DAB A20/180 XM	1	2322	92.88
4 ^η περίπτωση	1,77	1,08	DAB A20/180 XM	3	2321	176.396
5 ^η περίπτωση	18,99	1,08	EBARA 70/05M	–	2320	696

Η συνολική ενέργεια λοιπόν που καταναλώνεται από το υβριδικό αυτό σύστημα θα δίνεται από το άθροισμα των δύο καταναλώσεων, του συστήματος δηλαδή GWCooling και του βοηθητικού κλιματιστικού. Να σημειωθεί πως η ενέργεια του κλιματιστικού έχει μετατραπεί από GJ σε kWh ψυκτικής ισχύος και εν συνεχεία διαιρεμένη με το συντελεστή απόδοσης θα δίνει τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που έχει δαπανηθεί.

Πίνακας 5. Δαπανώμενη τελική ενέργεια για τις πέντε περιπτώσεις

	Ενέργεια που οφείλεται στην κλιματιστική μονάδα (kWh/Ετος)	Ενέργεια που οφείλεται στο σύστημα GWCooling (kWh/Ετος)	Συνολική δαπανώμενη ενέργεια (kWh/Ετος)
1 ^η περίπτωση	642.000	92.64	734.640
2 ^η περίπτωση	344.667	92.84	437.507
3 ^η περίπτωση	344.667	92.88	437.547
4 ^η περίπτωση	344.778	176.396	521.174
5 ^η περίπτωση	344.778	696	1040.778

Μπορεί κάποιος, λοιπόν, να διακρίνει πως η βέλτιστη ενεργειακά κατάσταση παρουσιάζεται οριακά για τη 2^η περίπτωση, αφού έστω και για λίγο η κατανάλωσή της είναι μικρότερη από αυτές των άλλων περιπτώσεων.



Διάγραμμα 1. Ενεργειακή κατανάλωση των διαφόρων εξεταζόμενων περιπτώσεων

B. Κατανάλωση κλιματιστικού συστήματος

Αφού έχει γίνει η ενεργειακή μελέτη του συστήματος και έχει επιλεγεί η βέλτιστη ενεργειακά επιλογή, μένει πλέον να συγκριθεί με την περίπτωση όπου δεν υπάρχει το σύστημα δροσισμού, αλλά πρόκειται μόνο για την εγκατάσταση μιας κλιματιστικής μονάδας. Αυτή η περίπτωση θα πρέπει να έχει τα ίδια χαρακτηριστικά θερμικής άνεσης με τα αντίστοιχα του συστήματος GWCooling. Όπως ήδη έχει προαναφερθεί, η περίπτωση αυτή είναι για ισχύ κλιματιστικής μονάδας 12.000 BTU/h και θερμοκρασία θερμοστάτη 26 °C.

Αυτή η περίπτωση έχει κατανάλωση ψυκτικής ενέργειας ίση με 15,288 GJ/Ετος, και συνεπώς με το συντελεστή απόδοσης COP = 2,5 η ηλεκτρική κατανάλωση θα είναι ίση με 6,115 GJ/Ετος, ή 1698.667 kWh/Ετος.

C. Ενεργειακή σύγκριση των δύο συστημάτων

Συγκρίνοντας την τελευταία αυτή τιμή με τις τιμές που υπολογίστηκαν πιο πάνω σχετικά με την κατανάλωση του υβριδικού συστήματος προκύπτει εξοικονόμηση ενέργειας για όλες τις περιπτώσεις. Μάλιστα, η εξοικονόμηση ξεπερνάει το 74 % για τη δεύτερη περίπτωση. Πλέον, μένει να ελεγχθεί αν η οικονομικότητα του συστήματος συνάδει με το αποτέλεσμα που μόλις παρουσιάστηκε.

Αναφορικά μόνο, για το Κάιρο, η ενεργειακή κατανάλωση του υβριδικού συστήματος θα είναι 610,83 kWh (127,28 από GWCooling + 483,55 από AC) όσον αφορά την αντίστοιχη εξεταζόμενη περίπτωση 2. Για την περίπτωση που θα λειτουργεί μόνο ένα κλιματιστικό ισχύος 12.000 BTU/h, η κατανάλωση θα είναι 2.400,55 kWh και αυτό θα σημαίνει εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 75 %. Για τη Θεσσαλονίκη, το αντίστοιχο ποσοστό είναι της τάξης του 92 %, αφού πλέον το βοηθητικό κλιματιστικό «ξοδεύει» μόνο 1,55 ηλεκτρικών kWh και το σύστημα GWCooling άλλες 74,68 kWh, ενώ η περίπτωση του κλιματιστικού μόνο, δαπανά 912,88 kWh.

2. Μελέτη οικονομικής βιωσιμότητας

Αφού εξετάστηκε η άποψη της ενεργειακής κατανάλωσης, θα γίνει προσπάθεια να εκτιμηθεί και το κόστος σε μακροχρόνια βάση για την εύρεση της απόσβεσης, αν υπάρχει. Ο έλεγχος θα γίνει μεταξύ των πέντε περιπτώσεων του υβριδικού συστήματος και της περίπτωσης του κλιματιστικού.

Ως πηγές για τις τιμές των υλικών και των εργατικών εγκατάστασης και συντήρησης επιλέχθηκαν εταιρίες κλιματισμού, εταιρίες υδραυλικών εγκαταστάσεων και μια εταιρία παραγωγής χαλκοσωλήνων.

Α. Κόστος εγκατάστασης

Το κόστος εγκατάστασης μιας κλιματιστικής μονάδας είναι το κόστος αγοράς και το κόστος των εργατικών. Μια τυπική τιμή για ένα κλιματιστικό 12.000 BTU/h μετά της εγκατάστασής του είναι περίπου 330 Ευρώ³ (260 Ευρώ η αγορά + 70 Ευρώ η εγκατάσταση).

Το κόστος αρχικής αγοράς και εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος θα δίνεται από το κόστος του συστήματος δροσισμού συν το κόστος του βοηθητικού κλιματιστικού. Το τελευταίο θα έχει κόστος ίσο με το κόστος που αναλύθηκε στην παραπάνω παράγραφο, μια που πρόκειται για την ίδια μονάδα. Ακόμη, θα πρέπει να σημειωθεί ως παραδοχή, πως στην οροφή και ακριβώς πάνω από το σύστημα δροσισμού θα τοποθετηθεί ένα μικρό πάχος μόνωσης περίπου 1 cm, καθώς και κάτω από τις σωληνώσεις, όπως αναφέρθηκε, θα τοποθετηθεί μία διαχωριστική επιφάνεια από μεταλλικά πλακίδια. Εντούτοις, θα παραλειφθεί η εσωτερική στρώση του επιχρίσματος και της βαφής του. Άρα, συνολικά μπορεί να θεωρηθεί πως η διαφορά κόστους – κέρδους θα είναι ισοσκελισμένη και συνεπώς δε θα ληφθεί υπόψιν.

Όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης του συστήματος GWCooling, αυτό θα αναλύεται στο κόστος αγοράς της αντλίας, στο κόστος δημιουργίας του χώρου τοποθέτησής της και στο κόστος αγοράς των χαλκοσωλήνων. Τα εργατικά θα υπολογιστούν ως κάποιο ποσοστό επί του μήκους των χαλκοσωλήνων, αφού στην αγορά δεν υπήρξε αρμόδιος για να γνωμοδοτήσει επί του θέματος.

³ Technotherm ABEE, Γρηγορίου Λαμπράκη 35, Θεσσαλονίκη

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

Όλοι προφασίστηκαν άγνοια του θέματος και αυτό που μπόρεσαν να πουν είναι πως η τιμή εγκατάστασης θα μειώνεται αναλογικά όσο αυξάνεται ο όγκος της δουλειάς. Αυθαίρετα, λοιπόν, αποφασίστηκε η τιμή των εργατικών να οριστεί με την παρακάτω συνάρτηση:

$$C = 200 + L \cdot 0.2 \quad (1)$$

όπου

C : Το κόστος των εργατικών

L : Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων

Η εν λόγω συνάρτηση λαμβάνει υπόψη της την ενοικίαση του εξοπλισμού ως σταθερό κόστος, ενώ το δεύτερο μέλος δείχνει την εξάρτηση του κόστους από τον όγκο της εργασίας.

Οι αντλίες που επιλέχθηκαν κοστίζουν 52⁴ και 165⁵ Ευρώ αντίστοιχα. Το κόστος κατασκευής του χώρου τοποθέτησης της αντλίας αξιολογήθηκε στα 150 Ευρώ περίπου, και θα είναι ανεξάρτητο από το χώρο δημιουργίας του και το είδος της αντλίας. Όσον αφορά το κόστος αγοράς των χαλκοσωλήνων, αυτό εξαρτάται άμεσα από την τιμή του πετρελαίου. Οι τιμές που ελήφθησαν είναι σημερινές και ιδιαίτερες ανεβασμένες. Από μία έρευνα αγοράς σε τέσσερα σημεία (3 εταιρίες κλιματισμού και μία εταιρία ειδών χαλκού⁶) έγινε η επιλογή των πιο φθηνών τιμών ανά κατηγορία διαμέτρου. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 6. Τιμές χαλκοσωλήνα ανά μέτρο συναρτήσει της διαμέτρου

Φ 18	1,3 Ευρώ / μέτρο
Φ 28	1,97 Ευρώ / μέτρο
Φ 35	3,21 Ευρώ / μέτρο
Φ 42	4,43 Ευρώ / μέτρο

⁴ Γαρυφαλλάς, Αντλίες – Γεννήτριες, Μοναστηρίου 30 Θεσσαλονίκη

⁵ Marco Pumps, Αντλίες – πιεστικά, Μοναστηρίου 185 Θεσσαλονίκη

⁶ Κ. Δρίτσας κ ΣΙΑ ΟΕ, Μαζαράκη 6 – 8, Θεσσαλονίκη

Να σημειωθεί πως οι διάμετροι που εξετάστηκαν είναι αυτοί που κυκλοφορούν στο εμπόριο, ενώ υπάρχει και η περίπτωση ειδικής παραγγελίας αν πρόκειται για πολύ μεγάλη ποσότητα. Σε τέτοια περίπτωση, και ειδικά για παραγγελίες άνω των 500 μέτρων, προφανώς θα υπάρχει και κάποια έκπτωση, η οποία όμως εδώ δεν συνυπολογίζεται. Παρόλα αυτά, η εργασία θα συνεχίσει με τις τιμές αυτές ως αντιπροσωπευτικές για τις αντίστοιχες διαμέτρους των 2, 3,4 και 5 cm.

Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε διάμετρος 5 cm και είχε συνολικό μήκος σωλήνων ίσο με $A/D = 25/0.05 = 500$ m. Ομοίως τα μήκη των σωλήνων και για τις πέντε πρώτες περιπτώσεις δίνονται στη συνέχεια:

Πίνακας 7. Μήκος σωληνώσεων

	Επιφάνεια εναλλαγής (m ³)	Διάμετρος (cm)	Μήκος σωλήνων (m)
1 ^η περίπτωση	25	5	500
2 ^η περίπτωση	30	5	600
3 ^η περίπτωση	30	4	750
4 ^η περίπτωση	30	3	1000
5 ^η περίπτωση	30	2	1500

Άρα, για την κάθε περίπτωση, το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των σωληνώσεων θα είναι συνάρτηση του μήκους των σωληνώσεων. Το κόστος αυτό φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8. Κόστος αγοράς και κόστος εγκατάστασης των σωλήνων

	Μήκος σωλήνων (m)	Κόστος αγοράς (Ευρώ)	Κόστος εγκατάστασης (Ευρώ)
1 ^η περίπτωση	500	1772	300
2 ^η περίπτωση	600	2126.4	320
3 ^η περίπτωση	750	1926	350
4 ^η περίπτωση	1000	1576	400
5 ^η περίπτωση	1500	1560	500

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

Συνοπτικά, το κόστος εγκατάστασης του συστήματος GWCooling θα είναι:

Πίνακας 9. Τελικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος GWCooling και συνιστώσες του

	Κόστος αγοράς (Ευρώ)	Κόστος εγκατάστασης (Ευρώ)	Κόστος κατασκευής χώρου αντλίας (Ευρώ)	Κόστος αγοράς αντλίας (Ευρώ)	Τελικό κόστος εγκατάστασης συστήματος GWCooling (Ευρώ)
1 ^η περίπτωση	2215	300	150	52	2717
2 ^η περίπτωση	2658	320	150	52	3180
3 ^η περίπτωση	2407.5	350	150	52	2959.5
4 ^η περίπτωση	1970	400	150	52	2572
5 ^η περίπτωση	1950	500	150	165	2765

Βεβαίως, λόγω της υπόθεσης παράλληλης λειτουργίας του συστήματος δροσισμού και μιας κλιματιστικής μονάδας, το αρχικό κόστος θα πρέπει να περιλαμβάνει και την τιμή αγοράς και εγκατάστασης αυτής. Έτσι, δημιουργείται ο παρακάτω πίνακας:

	Τελικό κόστος εγκατάστασης συστήματος GWCooling (Ευρώ)	Κόστος κλιματιστικού		Τελικό κόστος εγκατάστασης υβριδικού συστήματος (Ευρώ)
		Κόστος αγοράς (Ευρώ)	Κόστος εγκατάστασης (Ευρώ)	
1 ^η περίπτωση	2717	260	70	3047
2 ^η περίπτωση	3180	260	70	3510
3 ^η περίπτωση	2959.5	260	70	3289.5
4 ^η περίπτωση	2572	260	70	2902
5 ^η περίπτωση	2765	260	70	3095

Συνεπώς, η βέλτιστη περίπτωση όσον αφορά την αρχική εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος είναι η 4^η. Φυσικά, σε καμία περίπτωση δε συγκρίνεται το κόστος εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος (GWCooling + κλιματιστικό) με το κόστος της περίπτωσης του κλιματιστικού, αφού είναι σχεδόν δωδεκαπλάσιο.

Παρόλα αυτά, δεν έχει ληφθεί ακόμα υπόψιν η λειτουργία και η συντήρηση των δύο αυτών συστημάτων, παράγοντας που ασφαλώς παίζει ρόλο σε μια οικονομοτεχνική μελέτη.

β. Λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης

Το κόστος λειτουργίας του κλιματιστικού είναι η ηλεκτρική του κατανάλωση σε kWh επί την τιμή της kWh σε Ευρώ. Αυτή η τιμή λήφθηκε 0,06817 Ευρώ/kWh χωρίς Φ.Π.Α. από λογαριασμό ρεύματος του γράφοντος για κατανάλωση εντός του τελευταίου έτους. Συνεπώς τα ετήσια έξοδα για τη λειτουργία του κλιματιστικού σε σημερινή αξία θα είναι $(1698.667 \text{ kWh/Έτος}) \times (0.06817 \text{ Ευρώ/kWh}) + 18\% = 136.64 \text{ Ευρώ / Έτος}$. Σε αυτά, θα πρέπει να προστεθεί και η συντήρηση του κλιματιστικού που πραγματοποιείται ανά έτος και στοιχίζει περίπου 45 Ευρώ. Συναθροιζόμενο με το παραπάνω κόστος λειτουργίας, το τελικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του κλιματιστικού θα είναι ίσο με 181.64 Ευρώ / Έτος.

Το κόστος λειτουργίας του συστήματος GWCooling είναι μόνο η κατανάλωση του ρεύματος για τη λειτουργία της αντλίας συν την βοηθητική κατανάλωση του κλιματιστικού. Ως κόστος συντήρησης θα είναι το κόστος συντήρησης του κλιματιστικού μόνο, και μάλιστα ανά τριετία λόγω της πολύ περιορισμένης χρήσης του. Οι χαλκοσωλήνες, λόγω της πολύ καλής ποιότητας του νερού που, ως παραδοχή, προσέρχεται στους αγωγούς, θα θεωρηθούν ότι δε χρειάζονται σχεδόν καθόλου συντήρηση, και αν ποτέ χρειαστούν αυτή θα είναι μικρής χρηματικής αξίας (καθαρισμός των όποιων επικαθήσεων με χημικά διαλύματα). Συνεπώς ως κόστος συντήρησης θα λαμβάνονται 15 Ευρώ / Έτος.

Το κόστος λειτουργίας θα είναι και πάλι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας επί την ηλεκτρική καταναλωθείσα ενέργεια. Αυτή, μαζί με το κόστος συντήρησης για τις πέντε περιπτώσεις θα είναι:

Δροσισμός Κτιρίου με Απευθείας Χρήση Υπόγειων Υδάτων σε Οροφή Δροσισμού

Πίνακας 10. Συνολικό κόστος ετήσιας λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος GWCooling

	Συνολική δαπανώμενη ενέργεια (kWh/Έτος)	Κόστος ετήσιας λειτουργίας (Ευρώ / Έτος)	Κόστος ετήσιας συντήρησης (Ευρώ / Έτος)	Συνολικό ετήσιο κόστος (Ευρώ / Έτος)
1 ^η περίπτωση	734.640	59.095	15	74.095
2 ^η περίπτωση	437.507	35.193	15	50.193
3 ^η περίπτωση	437.547	35.197	15	50.197
4 ^η περίπτωση	521.174	41.924	15	56.924
5 ^η περίπτωση	1040.778	83.721	15	98.721

C. Μέθοδος καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ)

Η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας στηρίζεται στη σύγκριση αθροισμάτων χρηματικών ποσών που αναφέρονται σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Συγκεκριμένα, υπολογίζονται οι παρούσες αξίες όλων των μελλοντικών χρηματικών ποσών και αυτές έπειτα αθροίζονται. Για την κάθε μια εκ των πέντε περιπτώσεων συν την περίπτωση του κλιματιστικού θα γίνει η πιο πάνω διαδικασία.

Στο τέλος θα συγκριθούν οι χρηματοροές σε κάθε έτος που παρέρχεται και όποτε η συνολική χρηματοροή μιας εκ των πέντε περιπτώσεων γίνει μικρότερη από αυτή του κλιματιστικού σε εκείνο το έτος θα υπάρξει ουσιαστικά και η απόσβεση.

Ο παρακάτω πίνακας δημιουργείται για τη συνοπτική απεικόνιση του αρχικού και του ετήσιου κόστους των εν λόγω περιπτώσεων:

Πίνακας 11. Αρχικό και ετήσιο κόστος των υπό μελέτη περιπτώσεων

	Κλιματιστικό	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4	Περίπτωση 5
ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Ευρώ)	330	3047	3510	3289.5	2902	3095
ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ (Ευρώ)	181.64	74.09	50.19	50.19	56.92	98.72

Πλέον, για κάθε έτος θα υπολογίζεται ο τύπος:

$$ΠΑ(p) = \sum_{t=0}^n [(P_{εt} - P_{δt}) \cdot (1+p)^{-t}] \quad (2)$$

όπου

$ΠΑ(p)$: Η παρούσα αξία με επιτόκιο p %

$P_{εt}$: Τα έσοδα τη χρονική στιγμή (έτος) t

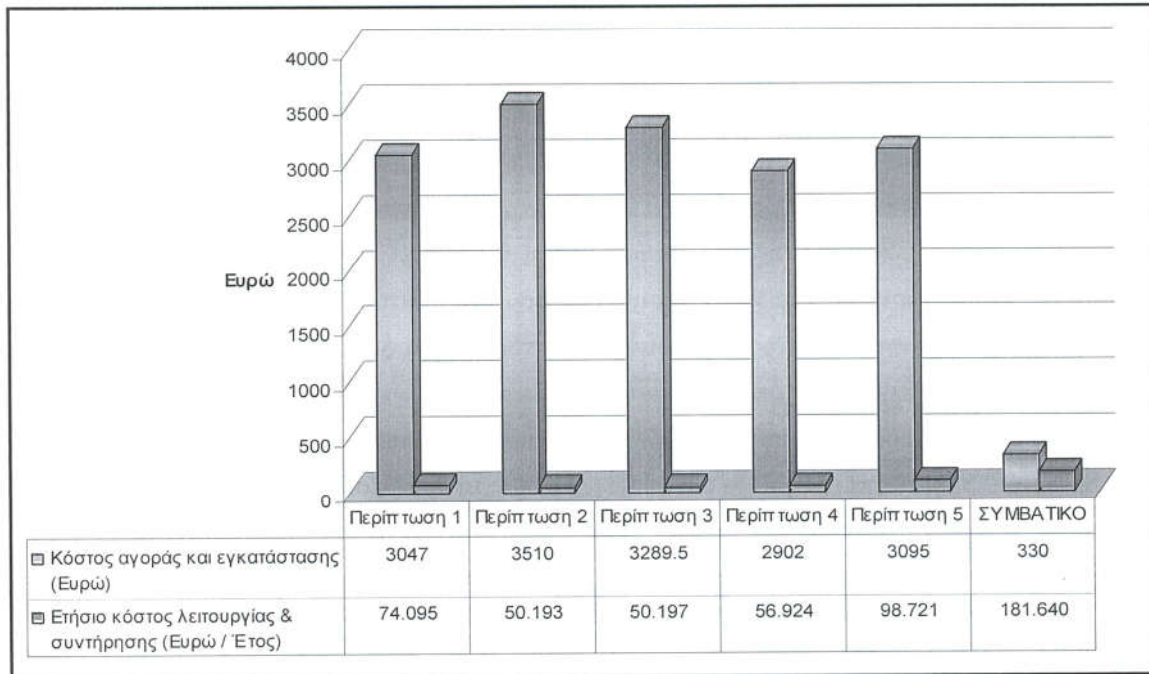
$P_{δt}$: Οι δαπάνες τη χρονική στιγμή (έτος) t

p : Τραπεζικό επιτόκιο 3,4 % (προκύπτει από την αφαίρεση του μέσου πληθωρισμού της Ε.Ε. 3 % από το κόστος κεφαλαίου 6,4 %)

Επειδή πρόκειται για ενεργειακά συστήματα, δε θα υπάρχουν έσοδα κατά την πάροδο των χρόνων, οπότε $P_{εt} = 0$. η εφαρμογή της παραπάνω εξίσωσης δείχνει πως πρώτη η περίπτωση 4 καταφέρνει να κάνει απόσβεση σε 37 χρόνια. Ακολουθούν οι περιπτώσεις 3, 2 και 1 με 44, 52 και 59 χρόνια αντίστοιχα, ενώ η πέμπτη περίπτωση δε θα κάνει απόσβεση ποτέ.. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει συγκεντρωτικά τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 12. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της μελέτης όσον αφορά την ενεργειακή εξοικονόμηση κα την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος δροσισμού

Υβριδικό σύστημα (GWCooling + κλιματιστικό)					
Διάμετρος (cm)	Μήκος Σωλήνων (m)	Συνολική δαπανώμενη ενέργεια (kWh/Έτος)	Κόστος αγοράς και εγκατάστασης (Ευρώ)	Ετήσιο κόστος λειτουργίας & συντήρησης (Ευρώ / Έτος)	Χρόνος απόσβεσης (Έτη)
5	500	734.640	3047	74.095	59
5	600	437.507	3510	50.193	52
4	750	437.547	3289.5	50.197	44
3	1000	521.174	2902	56.924	37
2	1500	1040.778	3095	98.721	ΠΟΤΕ
Συμβατικό σύστημα (κλιματιστικό)					
-		1698.667	330	181.64	-



Διάγραμμα 2. Αρχικό και ετήσιο κόστος των υπό εξέταση ενεργειακών συστημάτων

3. Εξέταση του συστήματος GWCooling ως αυτόνομο σύστημα κλιματισμού.

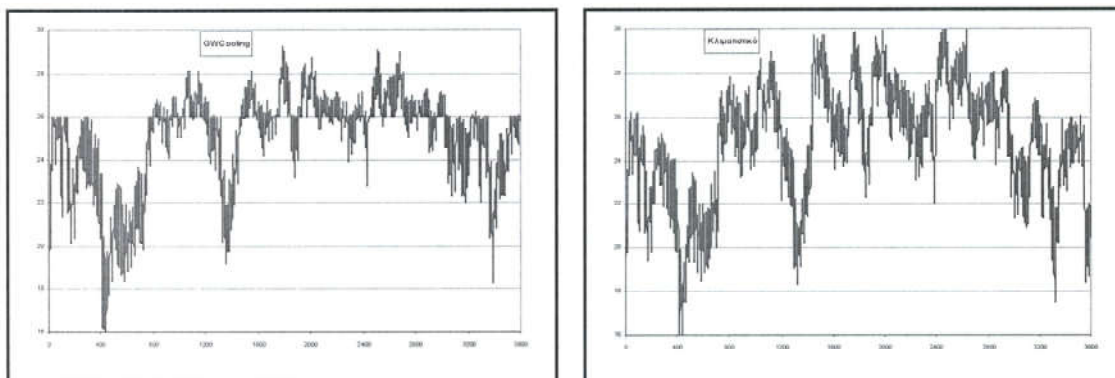
Δυστυχώς, για λίγες ώρες ανά έτος η θερμοκρασία του χώρου αποτυγχάνει να περιοριστεί σε επίπεδα κάτω της θερμοκρασίας του θερμοστάτη και για αυτές θα πρέπει να λειτουργήσει η βοηθητική κλιματιστική μονάδα. Αυτό, αυξάνει κατά πολύ το αρχικό κόστος εγκατάστασης (κατά το συνολικό κόστος εγκατάστασης μιας συμβατικής λύσης μιας κλιματιστικής μονάδας) και σε πολλές περιπτώσεις φτάνει να αποτελεί έως και το 85 % περίπου της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, και όλα αυτά χωρίς να συνυπολογισθεί η συντήρηση του κλιματιστικού.

Μπορεί να ειπωθεί, πως είναι αναπόφευκτο να υπάρχει βοηθητική λειτουργία κλιματιστικού, έτσι ώστε τελικά η θερμοκρασία να κυμαίνεται μέσα στα όρια του θερμοστάτη. Παρόλα αυτά, από μια σύντομη ματιά στα αποτελέσματα που έδωσαν οι πέντε περιπτώσεις που εξετάστηκαν στις ενότητες 1 και 2 του παρόντος κεφαλαίου μπορεί κανείς να δει πως 237 ώρες βρίσκονται να συμπίπτουν με το θερμοστάτη

κλιματισμού και δύο να τον υπερβαίνουν, πράγμα που σημαίνει πως ο κλιματισμός επεμβαίνει 239 ώρες εκ των οποίων οι 2 είναι αποτυχημένες. Αυτές οι τιμές ισχύουν για την καλύτερη περίπτωση του υβριδικού συστήματος, όσον αφορά την απορρόφηση θερμότητας από το σύστημα GWCooling, και αυτό δείχνει τη μη αναγκαιότητα της κλιματιστικής μονάδας σε τόσο μεγάλο βαθμό.

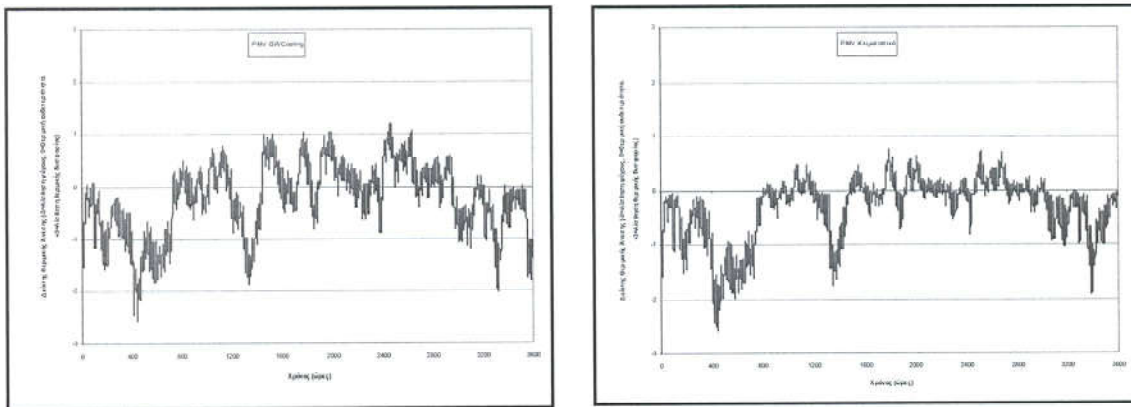
Το τελευταίο ενισχύεται και από το γεγονός ότι μια αυτόνομη κλιματιστική μονάδα των 12.000 BTU/h δεν καταφέρνει να περιορίσει τη θερμοκρασία σε 632 ώρες, άρα μπορεί κανείς να συγκρίνει άμεσα ένα σύστημα κλιματισμού με το αντίστοιχο σύστημα GWCooling, που πλέον μπορεί να λειτουργεί ως κλιματιστικό. Πράγματι, η περίπτωση όπου συναντάται μια μέση περίπτωση για το σύστημα GWCooling, απουσία βοηθητικού κλιματιστικού, με επιφάνεια εναλλαγής 30 m², παροχή 0.6 kg/sec και διάμετρο 0.04 m, δείχνει πως οι ώρες που η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη αυτής του θερμοστάτη δροσισμού είναι συνολικά 833. Η μέγιστη θερμοκρασία που παρουσιάζεται είναι 30.5 °C. Αυτή η περίπτωση θα συγκριθεί με μια άλλη που να έχει παρόμοιο αντίκτυπο στη θερμική άνεση με αυτή. Έτσι, η μέγιστη θερμοκρασία που παρουσιάζεται με ένα κλιματιστικό 9.000 BTU/h είναι 29.2 °C και συνεπώς τα δύο αυτά συστήματα θα είναι άμεσα συγκρίσιμα. Το υπόψιν κλιματιστικό που θα εξεταστεί απαντάται πολύ συχνά σε κατοικίες της Ελλάδας, άρα η σύγκριση δεν είναι εκτός πραγματικότητας.

Τα διαγράμματα παρακάτω δείχνουν την ωριαία θερμοκρασία για όλη την περίοδο και για τα δύο υπό εξέταση συστήματα.



Διάγραμμα 3. Σύγκριση της επίδρασης ενός κλιματιστικού 9.000 BTU/h (δεξιά) και της περίπτωσης του συστήματος GWCooling (αριστερά) στη θερμοκρασία του χώρου

Φαίνεται καθαρά πως η θερμοκρασία στην πρώτη περίπτωση είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης δεύτερης κατά ένα βαθμό Κελσίου. Αυτό επιτρέπεται χάρη στην οροφή δροσισμού και δίνει το ίδιο αποτέλεσμα θερμικής άνεσης. Κατά τα άλλα, η θερμική άνεση δεν έχει σημαντικές αποκλίσεις, όπως φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 4. Σύγκριση της επίδρασης ενός κλιματιστικού 9.000 BTU/h (δεξιά) και της περίπτωσης του συστήματος GWCooling (αριστερά) στο δείκτη θερμικής άνεσης

Οι ώρες που η θερμική άνεση παίρνει αρνητικές τιμές δε θα πρέπει να ξενίζουν τον αναγνώστη, καθώς για εκείνες τις ώρες θα πρέπει να λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης και αυτό δεν οφείλεται σε κάποιο από τα δύο αυτά συστήματα κλιματισμού.

Όσον αφορά τις θετικές τιμές, αυτές δεν υπερβαίνουν την τιμή 1.21 στην πρώτη περίπτωση και την τιμή 0.77 για τη δεύτερη. Οι τιμές αυτές είναι κοντά στις ιδανικές και, φυσικά, δεν κρίνονται σε καμιά περίπτωση ενοχλητικές.

Το σύστημα, λοιπόν, δροσισμού, μπορεί να αντικαταστήσει μια συμβατική κλιματιστική μονάδα με τα ίδια σχεδόν αποτελέσματα όσον αφορά τη θερμική άνεση.

Α. Ενεργειακή σύγκριση

Το σύστημα GWCooling θα έχει ενεργειακή κατανάλωση ίση με την κατανάλωση μόνο της αντλίας κυκλοφορίας. Για μανομετρικό ύψος 1.13 m και παροχή 2.16 m³/h, η αντλία που θα επιλεγεί είναι αυτή της εταιρίας DAB τύπου A20/180 XM και η ταχύτητα που θα επιλεγεί θα είναι η δεύτερη⁷. Η ισχύς της αντλίας τότε θα είναι 58 W και αφού θα χρησιμοποιηθεί για 2322 ώρες θα καταναλώσει συνολικά 134.676 kWh ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντίστοιχα, το κλιματιστικό θα καταναλώσει 14.113 ψυκτικά GJ, ή με ένα συντελεστή απόδοσης COP = 2.5, θα καταναλώσει 5.6452 ηλεκτρικά GJ. Αυτά με τη σειρά τους ισούνται με 1568.111 ηλεκτρικών kWh. Υπάρχει, λοιπόν, εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 91.4 %!

Β. Οικονομική σύγκριση

Αυτή η τρομερά μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας προϋδεάζει και για το μικρότερο χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης. Πράγματι, το κλιματιστικό έχει ως αρχικό κόστος 300 Ευρώ (230 Ευρώ για την αγορά και 70 Ευρώ για την εγκατάστασή του), ενώ η ετήσια λειτουργία και συντήρησή του θα κοστίζει 171,14 Ευρώ / Έτος ((1568,111 kWh/Έτος) x (0.06817 Ευρώ/kWh) + 18% = 126.14 Ευρώ / Έτος για τη λειτουργία του και 45 Ευρώ / Έτος για τη συντήρησή του)

Για το σύστημα GWCooling, το κόστος αγοράς θα ισούται με το κόστος αγοράς της αντλίας, το κόστος δημιουργίας του χώρου τοποθέτησής της και το κόστος αγοράς των χαλκοσωλήνων. Το κόστος εγκατάστασης σύμφωνα με την εξίσωση (1) θα είναι $C = 200 + L \cdot 0.2 = 200 + \frac{30}{0.04} \cdot 0.2 = 350$ Ευρώ. Το κόστος κατασκευής του χώρου τοποθέτησης της αντλίας είναι ίσο με 150 Ευρώ και το κόστος αγοράς των σωληνώσεων υπολογίζεται ίσο με $C_{\text{σωλ}} = \frac{30}{0.04} \cdot 3.21 = 2407.5$ Ευρώ. Η αντλία που επιλέχθηκε κοστίζει 52 Ευρώ, άρα το συνολικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης του συστήματος GWCooling θα είναι ίσο με 2959.5 Ευρώ.

⁷ Για περισσότερες πληροφορίες ο αναγνώστης μπορεί να συμβουλευθεί την πρώτη ενότητα αυτού του κεφαλαίου.

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας του συστήματος GWCooling θα είναι ίσο με $(134.676 \text{ kWh/Έτος}) \times (0.06817 \text{ Ευρώ/kWh}) + 18\% = 10.833 \text{ Ευρώ / Έτος}$, αφού ως παραδοχή το υπόψιν σύστημα δε θα χρειάζεται τακτική συντήρηση.

C. Διάρκεια αποπληρωμής

Χρησιμοποιώντας και πάλι την εξίσωση της μεθόδου ΚΠΑ, μπορεί να υπολογιστεί η χρονική διάρκεια που θα απαιτηθεί για την πλήρη απόσβεση του συστήματος GWCooling. Αυτή, και χωρίς να ληφθεί υπόψιν η υπολοίπουσα αξία των συστημάτων, θα είναι στα 25 χρόνια, και αυτό δείχνει και την αξία της σύγκρισης. Αν, δηλαδή, οι θερμοκρασίες των 30 °C δεν αποτελούν ανασταλτικό παράγοντα, τότε το σύστημα GWCooling θα μπορέσει να αντικαταστήσει επάξια την ψυκτική λειτουργία ενός κοινού κλιματιστικού.

4. Οικονομική αποτίμηση

Λόγω του υψηλού κόστους αρχικής επένδυσης, το σύστημα GWCooling αργεί να αποσβεστεί. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 70 % για την τέταρτη περίπτωση επιλογής των παραμέτρων δεν επιτρέπει τον ιδιοκτήτη της κατοικίας να έχει οικονομικό κέρδος πριν περάσουν 37 έτη. Αντιθέτως, ο χρόνος απόσβεσης μειώνεται κατά δώδεκα χρόνια στην περίπτωση της πλήρους αντικατάστασης του κλιματιστικού από το σύστημα GWCooling.

Ο χρόνος αποπληρωμής, αν και είναι αρκετά μεγάλος σε κάθε περίπτωση, έχει περιθώρια βελτίωσης. Η διαφορετική επιλογή των παραμέτρων, η εφαρμογή της προσομοίωσης σε άλλο μέρος, πιο «ψυχρό», μια ευνοϊκότερη τιμή αγοράς του χαλκού και πιθανώς μια κρατική επιχορήγηση για το αρχικό κόστος εγκατάστασης (ως σύστημα χαμηλής κατανάλωσης) θα βοηθούσαν πολύ έτσι ώστε η απόσβεση να γίνει σε πολύ πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

Πράγματι, στον παρακάτω πίνακα μπορεί κανείς να δει πώς τελικά επηρεάζει η αύξηση κάθε παραμέτρου την τελική αξία της επένδυσης, χωρίζοντάς την σε αρχικό κόστος και ετήσιο κόστος (κόστος λειτουργίας + συντήρησης) για τη βοηθητική κλιματιστική μονάδα και το σύστημα GWCooling. Στον πίνακα αυτό, η παράμετρος της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου δε λαμβάνεται υπόψιν επειδή στην ουσία σε ελάχιστες περιπτώσεις κάποιο από τα δύο συστήματα αποτυγχάνει να περιορίσει την επιθυμητή θερμοκρασία.

Πίνακας 13. Επιρροή των αρχικών παραμέτρων στο κόστος του υβριδικού συστήματος GWCooling.

Παράμετροι επιλογής	Αρχικό κόστος AC	Ετήσιο κόστος AC	Αρχικό κόστος GWCooling	Ετήσιο κόστος GWCooling
Επιφάνεια εναλλαγής	-	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση
Παροχή μάζας	-	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση
Διάμετρος σωληνώσεων	-	-	Αύξηση	Μείωση
Θερμοκρασία εισαγωγής	-	Αύξηση	-	-
Ισχύς κλιματιστικού	Αύξηση	Αύξηση	-	-
Θερμοκρασία θερμοστάτη	-	Μείωση	-	Μείωση

Η εφαρμογή της προσομοίωσης σε ένα μέρος στο οποίο η θερμοκρασία τους καλοκαιρινούς μήνες θα παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές και για μεγαλύτερες διάρκειες θα αποφέρει στη συνολική αποτίμηση μια εμφανή βελτίωση του χρόνου αποπληρωμής, αφού η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας προβλέπεται ότι θα είναι μεγαλύτερη. Άλλωστε, όσο πιο πολύ το σύστημα GWCooling χρησιμοποιείται και όσο λιγότερο το σύστημα κλιματισμού λειτουργεί, τόσο μειώνονται αντίστοιχα τα λειτουργικά έξοδα της βοηθητικής κλιματιστικής μονάδας και συνεπώς το ετήσιο κόστος παρουσιάζεται μειωμένο, αναλογικά πάντα με το αντίστοιχο της περίπτωσης ενός μόνο κλιματιστικού. Αυτό φαίνεται καθαρά στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, όπου ο χρόνος αποπληρωμής διαμορφώνεται στα 23 χρόνια.

Ακόμη, η τιμή του χαλκού αναμένεται εν καιρώ να μειωθεί κι άλλο, πράγμα που αυτομάτως μειώνει τα έξοδα εγκατάστασης. Άλλωστε, μετά βεβαιότητας μπορεί

κανείς να αναμένει μια μειωμένη τιμή σε παραγγελία χαλκοσωλήνων άνω των 500 μέτρων που είναι το μικρότερο μήκος για την προσομοίωση.

Να σημειωθεί, πως για την εγκατάσταση θερμαντικών σωμάτων σε ένα σπίτι απαιτούνται λιγότερα από 100 μέτρα για δισωλήνιο σύστημα, ενώ για μονοσωλήνιο η τιμή αυτή μειώνεται ακόμη πιο πολύ. Η πώληση των μεγάλων διαμέτρων σε ευθείς σωλήνες των εννέα μέτρων αφήνει περιθώρια για σκέψεις έκπτωσης σε περίπτωση μαζικότερης παραγγελίας.

Τέλος, τα συστήματα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας τυγχάνουν κρατικής επιχορηγήσεως (συστήματα που λειτουργούν με φυσικό αέριο, με φωτοβολταϊκά και με ανεμογεννήτριες ως βοηθητικές ή κύριες πηγές ενέργειας) και αυτό ίσως ευνοήσει το υπόψιν σύστημα, αφού η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλη. Άλλωστε, συμβάλει δραστικά και στη μείωση του λεγόμενου «φορτίου αιχμής», του μέγιστου δηλαδή φορτίου που παρατηρείται πλέον τους καλοκαιρινούς μήνες τις μεσημεριανές ώρες όπου στα περισσότερα νοικοκυριά τίθενται σε λειτουργία οι κλιματιστικές μονάδες με αποτέλεσμα να χρειάζεται πολύ μεγάλη εγκατεστημένη ισχύς από τη ΔΕΗ για την κάλυψη αυτών των λίγων ωρών.

Κεφάλαιο

10

**Συμπεράσματα, προτάσεις
και επίλογος**

Η παρούσα μελέτη ασχολήθηκε με τη μελέτη ενός πρότυπου συστήματος δροσισμού. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος, καθώς και μακροπρόθεσμα για εξοικονόμηση χρηματικών πόρων. Λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας και του έτους, η εγκαταστημένη ισχύς των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών της ΔΕΗ θα πρέπει να είναι μεγάλη και να επαρκεί για την κάλυψη αυτών των αιχμών.

Για τους παραπάνω λόγους, ως επίσης και για λόγους υγείας όσον αφορά τα προβλήματα της αστικής νησίδας και του άρρωστου κτιρίου και για προσπάθεια ένταξης των εσωκλιματικών συνθηκών στα όρια της θερμικής άνεσης, έγινε μια προσπάθεια διενέργειας μιας εργασίας που στόχο της θα είχε τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενός πρωτότυπου συστήματος δροσισμού εν συγκρίσει με μία συμβατική κλιματιστική μονάδα, όταν και τα δύο αυτά συστήματα θα λειτουργούν στο ίδιο κτίριο με τις υπόλοιπες συνθήκες να μη μεταβάλλονται καθόλου.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, αναπτύχθηκε κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic, ο οποίος συνεργάζεται άμεσα με το μοντέλο ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων SUNCODE-PC και με τρόπο τέτοιο ώστε τα αποτελέσματα του ενός να αποτελούν δεδομένα του άλλου. Η χρήση του SUNCODE-PC αιτιολογείται λόγω της δυναμικότητας του συστήματος και της απουσίας δυνατότητας του εν λόγω προγράμματος της παρακολούθησης ενός τόσο ευμετάβλητου στοιχείου που εξαρτάται και από εξωτερικούς παράγοντες.

Συνεπώς, το σύστημα GWCooling, που τροφοδοτείται από ψυχρό νερό προερχόμενο από γεώτρηση, θα αποτελείται από ένα μεγάλο μήκος σωληνώσεων το οποίο θα τοποθετηθεί ακριβώς κάτω από την οροφή (ή δώμα) του κτιρίου. Αυτό το σύστημα θα απορροφάει θερμότητα από τον υποκάτω χώρο κυρίως με ακτινοβολία και συναγωγή. Η προσομοίωση του εν λόγω συστήματος γίνεται με έναν αλγόριθμο περίπου 400 σειρών γραμμένο στη γλώσσα Visual Basic. Όλα τα χαρακτηριστικά του συστήματος, που μεταβαλλόμενα μπορούν να αλλάξουν τη συμπεριφορά του ενεργειακού συστήματος, τροποποιούνται κατά βούληση από τον χρήστη χάρη στο παράθυρο επιλογών του προγράμματος GWCooling.exe.

Συνεπώς, η μελέτη πραγματοποιήθηκε με παραμετρικό τρόπο, αφού για μερικά στοιχεία δεν υπήρχαν αναφορές και για άλλα στοιχεία η παραμετρική ανάλυση θα αποκάλυπτε πώς συγκεκριμένες τροποποιήσεις βασικών χαρακτηριστικών του υπό μελέτη συστήματος θα επηρέαζαν την ενεργειακή κατανάλωση και το κόστος του. Άλλωστε, η ενεργειακή κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας είναι μόνο το ένα σκέλος της οικονομοτεχνικής μελέτης. Το άλλο αφορά την οικονομική βιωσιμότητα και το χρόνο απόσβεσης του συστήματος.

Έπειτα από μια σειρά αναλύσεων για τον τρόπο που διάφορες μεταβλητές επηρεάζουν τον τρόπο λειτουργίας και κατανάλωσης του συστήματος δροσισμού, βρέθηκε ότι οι πιο νευραλγικές παράμετροι είναι η επιφάνεια εναλλαγής του συστήματος, η θερμοκρασία εισαγωγής των υδάτων στο σύστημα και η παροχή μάζας. Όπως είναι ευνόητο, όμως, εκτός της θερμοκρασίας εισαγωγής οι άλλες δύο παράμετροι έχουν αρνητική επίδραση στην κατανάλωση της αντλίας κυκλοφορίας του νερού στους αγωγούς. Αύξηση της παροχής και της επιφάνειας εναλλαγής θα μειώσουν την κατανάλωση του υβριδικού συστήματος αλλά θα αυξήσουν την πτώση πίεσης εντός των σωληνώσεων με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης της αντλίας.

Συνεπώς, για κάποιες ενδεικτικές περιπτώσεις έγινε μια οικονομοτεχνική μελέτη βιωσιμότητας για το υβριδικό σύστημα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ένα χρόνο απόσβεσης της τάξης των 37 ετών, ενώ η αντικατάσταση ενός κλιματιστικού με το υπόψιν σύστημα δροσισμού θα κατεβάσει το χρόνο αποπληρωμής σε 25 έτη, χρόνο αρκετά ενθαρρυντικό αν πάρει κανείς υπόψιν την ανυπαρξία αυτή τη στιγμή παρόμοιων κατασκευών. Μακροπρόθεσμα, η μαζική παραγωγή θα γεννήσει και ανάλογη τεχνογνωσία και ανταγωνισμό μεταξύ διαφόρων εταιριών και αυτό θα προκαλέσει χαμηλότερο κόστος αρχικής αγοράς και εγκατάστασης, τομέας που είναι και υπεύθυνος για την τόσο μακρόχρονη αποπληρωμή.

Άλλωστε, λόγω της πολιτικής που ακολουθείται στις τιμές του χαλκού και της μη πώλησης χαλκοσωλήνων σε μήκος μεγαλύτερο των 9 μέτρων για όλες τις διατομές, το κόστος εγκατάστασης είναι πολύ μεγάλο. Αυτό στην ουσία είναι και το μεγάλο μειονέκτημα του συστήματος δροσισμού και σε περίπτωση που βρεθεί ένα άλλο μέταλλο να υποκαταστήσει το χαλκό με μικρότερη τιμή αγοράς και παρόμοιες ιδιότητες όσον αφορά τη θερμική αγωγιμότητα και αντοχή, ή κάποιος άλλος τρόπος

προκύψει για τη μείωση του αρχικού κεφαλαίου, τότε ασφαλώς και το υβριδικό σύστημα θα είναι πιο ανταγωνιστικό και, φυσικά, πιο φιλικό στο περιβάλλον.

Μια προοπτική ακόμη που εμφανίζεται για το σύστημα δροσισμού GWCooling είναι αντίστοιχα και η χρησιμοποίηση των σωληνώσεων για θέρμανση κατά τη χειμερινή περίοδο. Το ζεστό νερό του λέβητα, ή των ηλιακών συλλεκτών, θα κυκλοφορεί εντός του συστήματος και θα χρησιμοποιείται ως ακτινοβολητής, μια τεχνική που στη θέρμανση έχει ιδιαίτερες υψηλές αποδόσεις.

Αυτό φυσικά θα μειώσει το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης καθώς το μόνο που θα απαιτηθεί παραπάνω θα είναι η προσθήκη μιας βάνας που θα απομονώνει τη γεώτρηση από τις σωληνώσεις. Συνεπώς, θα μειωθεί ανάλογα και ο χρόνος απόσβεσης της τεχνικής και πλέον θα γίνει άμεσα ανταγωνιστικό.

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συστήματος δίνονται παρακάτω εν συντομία:

Πλεονεκτήματα

- Εξοικονόμηση ενέργειας έως και 74 % στην πόλη της Αθήνας
- Φιλικότητα στο περιβάλλον (λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας)
- Δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος και ως σύστημα θέρμανσης (ακτινοβολητής)
- Μείωση της θερμοκρασιακής ημερήσιας διακύμανσης (αύξηση της θερμικής αδράνειας του κτιρίου και συγκεκριμένα της οροφής)
- Αύξηση της μέγιστης επιτρεπόμενης θερμοκρασίας χώρου λόγω της μείωσης της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας.
- Δυνατότητα μείωσης του αρχικού κόστους λόγω όγκου εργασίας και έκπτωσης λόγω ενδεχόμενης ανταγωνιστικότητας μεταξύ εταιριών

Μειονεκτήματα

- Μεγάλος χρόνος αποπληρωμής (37 έτη για την καλύτερη περίπτωση)

- Επιβάρυνση του στατικού φορέα του κτιρίου (περίπου 1 – 2 τόνοι θα εγκατασταθούν στην οροφή του κτιρίου)
- Πιθανότητα συμπύκνωσης υδρατμών στην επιφάνεια των σωληνώσεων
- Ενδεχόμενο φράξιμο των σωληνώσεων από σωματίδια ή επικαθίσεις ασβεστίου στο εσωτερικό της αντλίας και των σωλήνων λόγω μη καθαρότητας του νερού της γεώτρησης.

Εν κατακλείδι, η παρούσα μελέτη εξετάστηκε από κάθε άποψη για την πληρότητα και αρτιότητά της. Πληροφορίες συλλέχθηκαν από πολλά μέρη και αυτό αύξησε την αντικειμενικότητά της. Η πορεία της, δυστυχώς, στηρίχτηκε μόνο σε εμπειρικές επιβεβαιώσεις των αποτελεσμάτων και δίχως συνέχεια θα είναι μια μελέτη περιορισμένης αξιοπιστίας. Δίνει, παρόλα αυτά, ένα σκαλοπάτι για το επόμενο βήμα.

Βιβλιογραφία

Από επιστημονικές εκδόσεις, πανεπιστημιακά συγγράμματα

1. Εισαγωγή στη μετάδοση θερμότητας, Ν. Μουσιόπουλος
2. Μηχανική ρευστών, Γούλας Απόστολος
3. Θέρμανση, Αερισμός και Κλιματισμός, Σ. Ν. Λέγγας και Ν. Ι. Παρίκος
4. Θερμοδυναμική, Εισαγωγή στα θεμελιώδη και στις τεχνικές εφαρμογές, Hans Dieter Baehr, επιμέλεια Κ. Πάττας
5. Οργάνωση και διοίκηση εργοστασίων, 1ος τόμος, Δ. Ψωινός
6. P.Achard, R.Gicquel, 'Ενέργεια στην αρχιτεκτονική. Το Ευρωπαϊκό Εγχειρίδιο για τα Παθητικά Ηλιακά Κτίρια, «Μαλλιάρης Παιδεία για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή», Θεσσαλονίκη, 1996
7. International Standards Organization, 'ISO 7730, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort', 1995
8. ASHRAE, 'ASHRAE Fundamentals Handbook', American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 1977
9. A.Argiriou, M.Santamouris, 'Thermal Analysis for Summer Comfort in Buildings, European Commission. Directorate General XVII for Energy, Athens, 1995
10. L.Palmiter, T.Wheeling and Ecotope Inc., 'Suncode-PC. User's Manual', Ecotope Inc. , Seattle, Washington, 1986

Από πανεπιστημιακές σημειώσεις

1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Α. Ανδρίτσος
2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Γ. Τσιλιγκερίδης
3. Βασικές αρχές εξοικονόμησης ενέργειας, Αβραάμ Καραγιαννίδης
4. Όργανα εγκατάστασης κεντρικής θέρμανσης, κανονισμοί εγκατάστασης λεβητοστασίου, ΤΕΙ Σερρών, Τμήμα Μηχανολογίας, Παπαμητούκας και Καρυπίδης
5. Θ.Γ.Θεοδοσίου, 'Σημειώσεις στο μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων Ι, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας - Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη, 2004
6. Σημειώσεις μαθήματος 'Θέρμανση – Ψύξη – Κλιματισμός', Κωνσταντίνος Παπακώστας, Πίνακας 18
7. Τυπολόγιο στη Θερμική Αγωγή, Μετάδοσης Θερμότητας, 4ο εξάμηνο του τμήματος
8. Θ.Γ.Θεοδοσίου, 'Σημειώσεις στο μάθημα: Ενεργειακών Σχεδιασμός Κτιρίων ΙΙ, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας - Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη, 2004
9. Ηλιακή τεχνική, Φωτοβολταϊκά συστήματα και γεωθερμία, Θ' εξάμηνο σπουδών του τμήματος

Από το διαδίκτυο

1. http://www.spitia.gr/greek/aiforos/exikonomisi/m_santamouris.htm
2. <http://www.tee.gr/online/afieromata/2002/2196/vioclimate.shtml>
3. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/phlectdtechstat.html
4. http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/phlectl54_6.html
5. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/eng4397](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/eng4397)
6. http://www.advancedbuildings.org/frames/frame_t_heat_radiant_heating.htm
7. <http://www.malteser-krankenhaus-kamenz.de/englisch/finrepkm.pdf>
8. <http://www.redec.com/pdf/hot%20humid%20climates%20v2.pdf>
9. http://www.climate-eu.invensys.com/uk_pdf/brochures/RadiantCooling.pdf
10. <http://www.radiantceilings.com/pdf/press%20release%201.pdf>
11. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V2V-45BHGWY-2&_user=10&_coverDate=07%2F31%2F2002&_alid=164796509&_rdoc=1&_fimt=summary&_orig=browse&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=49cfd88aaf160a3aeb647f7d26584ba4
12. <http://www.ergon.com.gr/n21.php>
13. <http://www.tee.gr/magazines/tech-mag/teuxos6/rehau.shtml>
14. Βιοκλιματικός σχεδιασμός ως μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, ΑΡΘΡΟ του Ν. ΚΟΛΛΙΟΠΟΥΛΟΥ Δ/ρος Καθηγητού, Συμβούλου ΙΤΕ

Από λοιπά έγγραφα

1. Παραδόσεις μαθήματος Μετάδοσης Θερμότητας, Καθ. Ιωάννης Μπάρτζης, 4ο εξάμηνο του τμήματος
2. Διαφημιστικό φυλλάδιο ΤΕΜΠΑ Α.Ε. Συστήματα θέρμανσης – Ψύξης ROTEX
3. Διαφημιστικό φυλλάδιο REHAU σχετικά με την ψύξη δαπέδου
4. Θ.Γ.Θεοδοσίου, 'Πειραματική και αναλυτική διερεύνηση της συμβολής του φυτεμένου δώματος στο φυσικό δροσισμό των κτιρίων', Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2000
5. Τεχνικό φυλλάδιο εταιρίας SABIANA σχετικά με τα πανέλα οροφής DS 2000 Cooling Radiant Panels
6. Τεχνικό φυλλάδιο εταιρίας REHAU "ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΔΑΠΕΔΟΥ REHAU"
7. Διαφημιστικό φυλλάδιο εταιρίας REHAU σχετικά με την ενδοδαπέδια θέρμανση
8. Διαφημιστικό φυλλάδιο της εταιρίας ΤΕΜΠΑ σχετικά με συστήματα θέρμανσης / ψύξης ROTEX
9. Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρίας EBARA σχετικά με αντλίες κυκλοφορίας
10. Τεχνικό φυλλάδιο της εταιρίας DAB σχετικά με αντλίες κυκλοφορίας
11. Γενικός κατάλογος προϊόντων WILO
12. Τεχνικά φυλλάδια από το κατάστημα «Φίλτρα Νερού», Κ. Νικολαΐδης, Μοναστηρίου 80

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Υπολογιστικός κώδικας

Στο παράρτημα παρουσιάζεται αυτούσιος ο υπολογιστικός κώδικας που αναπτύχθηκε για το εξεταζόμενο μοντέλο σε περιβάλλον Ms Visual Basic 6.0

Π1.2

Form1.frm

```

Private Sub Check1_Click()
'Ενεργοποίηση χρήσης θερμοστάτη κλιματισμού και δροσίσιμου
If Check1.Value = 1 Then
    Label11.Enabled = True
    Text9.Enabled = True
Else
    Label11.Enabled = False
    Text9.Enabled = False
End If
End Sub

Private Sub Check2_Click()
'Ενεργοποίηση κλιματιστικού παράλληλα...
If Check2.Value = 1 Then
    Label10.Enabled = True
    Combo1.Enabled = True
Else
    Label10.Enabled = False
    Combo1.Enabled = False
End If
End Sub

Private Sub Combo2_Click()
'Επιλογή πόλης
Select Case Combo2.Text
Case "SALONICA"
    Text6.Text = "40.38"
    Text7.Text = "22.6"
    Text8.Text = "10."
Case "ATHENS"
    Text6.Text = "37.58"
    Text7.Text = "23.4"
    Text8.Text = "50."
Case "CAIRO"
    Text6.Text = "30.50"
    Text7.Text = "31.9"
    Text8.Text = "10."
Case "LARISA"
    Text6.Text = "39.38"
    Text7.Text = "22.3"
    Text8.Text = "73."
End Select
End Sub

Private Sub Command1_Click()
' Εβήσιμο "περιτιτών αρχείων"
On Error Resume Next
Kill App.Path & "\*.OUT"
Kill App.Path & "\COOL*.BLG"
Kill App.Path & "\* & "STEP_*" & "_RES.xls"
If Dir(App.Path & "\*.int") <> "" Then Kill App.Path & "\*.int"
On Error GoTo 0
'Ανάγνωση δεδομένων από τη φόρμα
Twin = Combo6.Text
Cp = Text2.Text
D = Combo5.Text
MWater = Combo4.Text
WallArea = Combo3.Text
Town = Combo2.Text
Latitude = Text6.Text
Mikos = Text7.Text
TownHeight = Text8.Text
ThermostatAC = Text9.Text + 1
Thermostat = Text9.Text
'Εάν γίνεται χρήση κλιματιστικού παράλληλα, τότε:
If Check2.Value = 1 Then
    krisiAC = True
    CapacityAC = Combo1.Text 'σε BTU/h
    iskysAC = CapacityAC ' για την εγγραφή της ισχύος του AC στο αρχείο αποτελεσμάτων
    CapacityAC = Round(CapacityAC * 0.0002928104, 2) 'σε kW (για το blg)
Else
    krisiAC = False
End If
'Αν κατά λάθος εισαχθεί θερμοκρασία εισόδου νερού > θερμοκρασία θερμοστάτη τότε ERROR
'αφού δεν μπορεί να κάνει δροσίσιμό
If Twin > Thermostat Then
    MsgBox "
        ERROR" & vbCrLf & _
        "Θερμοκρασία εισόδου νερού > θερμοκρασία θερμοστάτη"
    Form1.Hide
    Unload Form1
End
End If

```

Π1.3

Form1.frm

```

'Αν δε χρησιμοποιείται θερμοστάτης, τότε το κλιματιστικό δε δουλεύει και το σύστημα δουλεύει συνέχεια
If Check1.Value = 0 Then
    KriSiAC = 0
    Thermostat = 0
End If
' Εύρεση συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και γίνεται ταυτόχρονα και έλεγχος στρωτής - τυρβώδους ροής
COnductivity = 0.6 'W/mK
DEnsity = 1000 'kg/m3
VIscosity = 10 ^ -6 'm2/sec
ALPHA = COnductivity / (DEnsity * Cp) 'εύρεση του "α" ή αλλιώς του συντελεστή θερμικής διαχυτότητας
PRandtl = VIscosity / ALPHA 'εύρεση Prandtl
VELOCITY = MWater * 4 / (DEnsity * 3.1415 * (D ^ 2)) 'ταχύτητα του νερού εντός των αγωγών
REynolds = VELOCITY * D / VIscosity 'εύρεση αριθμού Reynolds
If REynolds > 2300 Then ' τυρβώδης ροή
    NUsselt = 0.023 * (REynolds ^ 0.8) * (PRandtl ^ 0.333)
    SurfCoef = Round(COnductivity * NUsselt / D, 2)
Else ' στρωτή ροή
    SurfCoef = Round(3.66 * COnductivity / D, 2)
End If
    If SurfCoef > 99.99 Then SurfCoef = 99.99
' Εύρεση ψυκτικής ικανότητας (capacity) του συστήματος GWCooling
If Twin < 26 Then
    Capacity = Round(MWater * Cp * (26 - Twin) / 1000, 3)
Else
    Capacity = 0
End If
'Αρχή της προσομοίωσης, βήμα = 0
SimStep = 0
' Προσομοίωση χωρίς το σύστημα GWC
If SimStep = 0 Then
    SurfCoef = 10.5
    If Check2.Value = 1 Then
        KLimatistiko = 1
    ElseIf Check2.Value = 0 Then
        KLimatistiko = 0
    End If
MakeBlg
RunSimulation
ReadResults
ResultsFile = App.Path & "\STEP_" & Format(SimStep, "00") & "_RES.xls"
WriteResults (ResultsFile)
For MONTHS = 1 To 5
    For BLG = 1 To 3
        For DAY = 1 To 10
            For HOUR = 1 To 24
                If T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, 0) > Thermostat Then
                    Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, 0) = 20
                Else
                    Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, 0) = 99.999
                End If
            Next HOUR
        Next DAY
    Next BLG
Next MONTHS

    If KLimatistiko = 1 Then
        Check2.Value = 1
    Else: Check2.Value = 0
    End If
End If
' Από δω και πέρα "μπαίνει" και το σύστημα GWC
SetIniValues 'Αρχικά δίνω τιμές σε παραμέτρους
Do
    SimStep = SimStep + 1 'Επόμενο βήμα
    MakeBlg 'Δημιουργώ το αρχείο εισόδου
    RunSimulation 'Τρέχω την προσομοίωση
    ReadResults 'Διαβάζω τα αποτελέσματα
'Υπολογίζω την απόκλιση
SUMdiff = 0
For MONTHS = 1 To 5
    For BLG = 1 To 3
        For DAY = 1 To 10
            For HOUR = 1 To 24
                SUMdiff = SUMdiff + Diff(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep)
            Next HOUR
        Next DAY
    Next BLG
Next MONTHS
' Δημιουργία αρχείου Excel για αποθήκευση κάθε βήματος
ResultsFile = App.Path & "\STEP_" & Format(SimStep, "00") & "_RES.xls"
' Αν η σύγκλιση έχει επιτευχθεί, τότε κάνε το τελικό αρχείο
If SUMdiff / 3600 < 0.01 Then ResultsFile = App.Path & "\RESULTS.xls"

```

III.4

Form1.frm

```
' Γράψιμο των αποτελεσμάτων στο αρχείο αποθήκευσης
WriteResults (ResultsFile)
Debug.Print SUMdiff / 3600, SimStep, Ccount
Ccount = 0
'Eάν έχει επιτευχθεί σύγκλιση, τότε ολοκληρώθηκε το τρέξιμο
If SUMdiff / 3600 < 0.01 Then
SimulationFinished = True
MsgBox "Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ" & vbCrLf & "ΟΛΟΚΛΗΡΩΘΗΚΕ"
On Error Resume Next
Kill App.Path & "\*.UNF"
Kill App.Path & "\COOL*.BLG"
If Dir(App.Path & "\*.int") <> "" Then Kill App.Path & "\*.int"
On Error GoTo 0
CreateXLSFile
Command5_Click
End If
Loop Until SimulationFinished
Close
End Sub

Private Sub Command5_Click()
Me.Hide
Unload Me
End
End Sub

Private Sub Command6_Click()
Shell "notepad.EXE " & App.Path & "\mitra.blg", vbNormalFocus
End Sub

Private Sub Form_Load()
Combo2.ListIndex = 0
ChDir App.Path
End Sub
```

Π1.5

Module1.bas

```

Option Explicit
Public Ccount
Sub SetIniValues()
SUMdiff = 0
'Δώσε Default τιμές στο πρώτο βήμα της προσομοίωσης
For MONTHS = 1 To 5
For BLG = 1 To 3
For DAY = 1 To 10
For HOUR = 1 To 24
Tw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 20
Next HOUR
Next DAY
Next BLG
Next MONTHS
End Sub
Sub MakeBlg()
On Error Resume Next
Kill App.Path & "\cool*.out"
On Error GoTo 0
For MONTHS = 1 To 5
MonthStart = Choose(MONTHS, "MAY", "JUN", "JUL", "AUG", "SEP")
For BLG = 1 To 3
' Ανοίγγω για input
Open App.Path & "\mitra.blg" For Input As #1
' Ανοίγγω για output
Open App.Path & "\cool" & MonthStart & BLG & ".blg" For Output As #2
' Αρχή του loop
Do
Input #1, v1
' Town & monthstart & blg
If v1 = "water" SALONICA 0.3 18. JUL 15. JUL 15. <NONE> <NONE>" Then
Print #2, " water " & Town & " 0.3 18. " & MonthStart & " " & BLG * 10 - 9 & ". " &
MonthStart & " " & BLG * 10 & ". <NONE> <NONE>"
' WallArea
ElseIf v1 = "water hvac2 90.5 0.1 0. 0.3 0.15 0.000 0.000"
Then
Print #2, " water hvac2 " & Round(WallArea, 1) & " 0.1 0. 0.3
0.15 0.000 0.000"
' WallArea WaterMat
ElseIf v1 = "WaterSur water 57. <AREA> water 57. <AREA> 90.5" Then
Print #2, " WaterSur water 57. <AREA> water 57. <AREA> " &
Round(WallArea, 1)
' WallArea UnderWat
ElseIf v1 = "underWAT ktirio 8.33 <AREA> water 57. <AREA> 90.5" Then
Print #2, " underWAT ktirio 8.33 <AREA> water 57. <AREA> " &
Round(WallArea, 1)
' WallArea Orofi
ElseIf v1 = "orofi water 57. <AREA> roof 25. 0.7 90.5" Then
Print #2, " orofi water 57. <AREA> roof 25. 0.7 " &
Round(WallArea, 1)
' WallArea OrofiXwrou
ElseIf v1 = "OrofiXwr ktirio 8.33 <AREA> roof 25. 0.3 0.1" Then
Print #2, " OrofiXwr ktirio 8.33 <AREA> roof 25. 0.3 " &
Round(90.5 - WallArea, 1)
' Surfcoef
ElseIf v1 = "underWAT ktirio 8.33 <AREA> water 57. <AREA> 90.5" Then
<AREA> 90.5"
Print #2, " underWAT ktirio 8.33 <AREA> water " & Round(SurfCoef, 2) & "
' Surfcoef
ElseIf v1 = "orofi water 57. <AREA> roof 25. 0.7 90.5" Then
90.5"
Print #2, " orofi water " & Round(SurfCoef, 2) & " <AREA> roof 25. 0.7
' Surfcoef
ElseIf v1 = "WaterSur water 57. <AREA> water 57. <AREA> 90.5" Then
Round(SurfCoef, 2) & " <AREA> 90.5"
Print #2, " WaterSur water " & Round(SurfCoef, 2) & " <AREA> water " &
' Town & Latitude & Mikos & townheight & αρχείο δεδομένων
ElseIf v1 = "SALONICA 40.38 22.57 10. SALONICA.DAT 3. M JAN 1. DEC 31."
Then
Print #2, Spc(1); Town & " " & Latitude; Spc(1); Mikos; Spc(1); Left(TownHeight, 3) & "
" & Town & ".DAT" 3. M JAN 1. DEC 31."
' Ισχύς κλιματιστικού συστήματος GWCooling
ElseIf v1 = "hvac2 <NONE> <NONE> cooling <ADEQ> <ADEQ> 16.13 12.8" Then
If SimStep = 0 Then
Print #2, Spc(1); "hvac2 <NONE> <NONE> <NONE> <ADEQ> <ADEQ>
<ADEQ> 12.8"
Else
Print #2, Spc(1); "hvac2 <NONE> <NONE> cooling <ADEQ> <ADEQ>
<ADEQ> 12.8"
End If
' Στα αρχεία εξόδου, ποιος είναι ο αριθμός της ημέρας (από 1 - 10) στο κάθε δεκαήμερο
ElseIf v1 = "ZONES H M DAYS 1. 6. N" Then
Mid(v1, 29) = BLG
Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "WALLS H M DAYS 3. 1. N" Then
Mid(v1, 29) = BLG
Print #2, Spc(1); v1

```

Π1.6

Module1.bas

```

ElseIf v1 = "ZONES" H M DAYS 2. 6. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "WALLS" H M DAYS 1. 1. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Mid(v1, 34) = "<ALL>"
    Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "AMBIENT" H M DAYS 1. 1. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "ZONES" H M DAYS 1. 4. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "ZONES" H M DAYS 1. 5. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "WALLS" H M DAYS 4. 1. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "ZONES" H M DAYS 2. 5. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Print #2, Spc(1); v1
ElseIf v1 = "ZONES" H M DAYS 2. 3. N" Then
    Mid(v1, 29) = BLG
    Print #2, Spc(1); v1
' WaterMat Paxos
ElseIf v1 = "WaterMat" 0.70 1000. 4.18 0.005 1." Then
    Paxos = 3.1415 * D / 4
    Print #2, " WaterMat 0.70 1000. 4.18 " & Round(Paxos, 4) &
" 1."
' Επικεφαλίδα
ElseIf v1 = "EnMan Suncode tolis" Or v1 = "RUNS" Or v1 = "ZONES" Or v1 = "WINDOWS" Or v1 =
"WALLS" Or v1 = "SURFACES" Or v1 = "HVAC.TYPES" Or v1 = "WALL.TYPES" Or v1 = "MASS.TYPES" Or v1 =
"GLAZING.TYPES" Or v1 = "OVERHANG.TYPES" Or v1 = "SIDEFIN.TYPES" Or v1 = "OUTPUTS" Or v1 = "SCHEDULES" Or
v1 = "SEASONS" Or v1 = "STATIONS" Or v1 = "END OF FILE" Then
    Print #2, v1
' Γράψιμο των schedules
ElseIf v1 = "cooling DAY 9. 15." Then
    If SimStep = 0 Then
    Else
        For DAY = 1 To 10
            For HOUR = 1 To 24 Step 4
                Print #2, Spc(1); "cooling"; Spc(1); "DAY" & ((BLG - 1) * 10 + DAY);
Spc(1); _
RTrim(HOUR); ". "; Spc(1); Left(Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep -
1), 5); Spc(1); _
RTrim(HOUR + 1); ". "; Spc(1); Left(Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR + 1,
SimStep - 1), 5); Spc(1); _
RTrim(HOUR + 2); ". "; Spc(1); Left(Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR + 2,
SimStep - 1), 5); Spc(1); _
RTrim(HOUR + 3); ". "; Spc(1); Left(Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR + 3,
SimStep - 1), 5)
                Next HOUR
            Next DAY
        End If
' Χρήση ή όχι κλιματιστικού παράλληλα
ElseIf v1 = "ktirio hvac 90.5 3. infilng 0.3 0.15 intgain latgain" Then
    If xrisiAC = True And SimStep <> 0 Then
        Print #2, " ktirio hvac 90.5 3. infilng 0.3 0.15 intgain
latgain"
    Else
        Print #2, " ktirio <NONE> 90.5 3. infilng 0.3 0.15 intgain
latgain"
    End If
' Θερμοστάτης κλιματιστικού και ισχύς του
ElseIf v1 = "hvac <NONE> <NONE> <NONE> <ADEQ> <ADEQ> 16.13 12.8" Then
    If xrisiAC = True Then
        Print #2, " hvac <NONE> <NONE> " & ThermostatAC & " <ADEQ> <ADEQ>
" & CapacityAC & " 12.8"
    Else
        Print #2, " hvac <NONE> <NONE> <NONE> <ADEQ> <ADEQ> 16.13
12.8"
    End If
' Γράψιμο του αριθμού της ημέρας (από 1 - 10) στο κάθε δεκάημερο και της ημερομηνίας της
ElseIf v1 = "DAY JUL 15. JUL 15. ALL" Then
    For DAY = 1 To 10
        Print #2, Spc(1); "DAY" & ((BLG - 1) * 10 + DAY); Spc(10); MonthStart; Spc(1);
((BLG - 1) * 10 + DAY) & ". "; Spc(6); MonthStart; Spc(1); ((BLG - 1) * 10 + DAY) & ". "; Spc(9); "ALL"
    Next DAY
        Print #2, Spc(1); "DAYS" & BLG; Spc(10); MonthStart; Spc(1); (1 + (BLG - 1) * 10) &
". "; Spc(6); MonthStart; Spc(1); (BLG * 10) & ". "; Spc(9); "ALL"
' Αντιγραφή όλων των άλλων γραμμών
Else
    Print #2, Spc(1); v1
End If
Loop Until EOF(1)
Close

```

Π1.7

Module1.bas

```

Next BLG
Next MONTHS
End Sub
Sub RunSimulation()
Dim k As Integer
Form1.Label10.Caption = "Επαναληπτική προσομοίωση. Βήμα: " & SimStep
If SimStep > 12 Then
    MsgBox "Προσομοίωση απέτυχε" & vbCrLf & "Δεδομένα εκτός ορίων"
End
End If
If SimStep > 8 Then
    k = MsgBox("Επανάληψη Νο" & SimStep & vbCrLf & "Θέλετε να συνεχίσετε?", vbYesNo, "Έλεγχος
σύγκλισης")
    If k = vbNo Then End
End If
Open App.Path & "\suncode.q" For Output As #100
For MONTHS = 1 To 5
    MonthStart = Choose(MONTHS, "MAY", "JUN", "JUL", "AUG", "SEP")
    For BLG = 1 To 3
        Print #100, "cool" & MonthStart & BLG & ".int"
    Next BLG
Next MONTHS
Close #100
Open App.Path & "\DOQUEUE.INP" For Output As #200
Print #200, "Y", Chr(13)
Print #200, Chr(10)
Close #200
Open App.Path & "\Edit.inp" For Output As #300
For MONTHS = 1 To 5
    MonthStart = Choose(MONTHS, "MAY", "JUN", "JUL", "AUG", "SEP")
    For BLG = 1 To 3
        Print #300, "2" & Chr(13) 'Read Building File
        Print #300, "cool" & MonthStart & BLG & Chr(13) 'Filename
        Print #300, "Y" & Chr(13) 'Is this the correct file?
        Print #300, "" & Chr(13) 'Press ENTER to continue
        Print #300, "7" & Chr(13) 'Write Building File
        Print #300, "" & Chr(13) 'Enter Library name
        Print #300, "" & Chr(13)
        Print #300, "" & Chr(13)
        Print #300, "Y" & Chr(13) 'Do U want to use...
        Print #300, "" & Chr(13)
    Next BLG
Next MONTHS
Print #300, "1" & Chr(13) 'Exit
Print #300, "Y" & Chr(13) 'Save Changes ?
Print #300, "Y" & Chr(13) 'Replace contents ?
Print #300, "N" & Chr(13) 'Change Label ?
Print #300, Chr(13)
Close #300
Close
Form1.Label10.Caption = "Εκτέλεση προσομοίωσης Βήμα: " & SimStep
Close
ShellAndWait App.Path & "\Format.BAT"
Form1.Label10.Caption = "Μεταγλώττιση αρχείων εισόδου ολοκληρώθηκε Βήμα:" & SimStep
ShellAndWait App.Path & "\run.bat"
Form1.Label10.Caption = "Προσομοίωση Βήμα: " & SimStep & " ολοκληρώθηκε!"
End Sub
Sub ReadResults()
For MONTHS = 1 To 5
    MonthStart = Choose(MONTHS, "MAY", "JUN", "JUL", "AUG", "SEP")
    For BLG = 1 To 3
        Open App.Path & "\cool" & MonthStart & BLG & ".unf" For Input As #3
        For DAY = 1 To 10
            For HOUR = 1 To 24
                ' Θερμοκρασία κτιρίου
                Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2
                T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
                ' Θερμική ροή προς το σύστημα
                Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2
                Qin(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
                ' Θερμοκρασία ιδεατής ζώνης
                Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2
                Tz(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
                ' Θερμοκρασία τοίχων
                For Wall = 1 To 17
                    If Wall < 4 Or (Wall > 12 And Wall < 16) Then
                        Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2
                        Tzw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, Wall) = Vtemp
                        QWout(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, Wall) = QWou
                        QWin(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, Wall) = QWi
                    Else
                        Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2
                        Tzw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, Wall) = Vtemp
                    End If
                Next
            Next
        Next
    Next
End Sub

```

Π1.8

Module1.bas

```

' Ατμοσφαιρική θερμοκρασία
Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, Vtemp, v2
Tamb(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
' Εχτική υγρασία κτιρίου
Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, Vtemp, v2, v2
RH(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
' Ψυκτικό φορτίο κλιματιστικού
Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, Vtemp, v2, v2, v2, v2
ACload(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
' Θερμοροή μέσω οροφής
Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, Vtemp, v2, v2, v2
Qout(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
' Φορτίο κλιματιστικού (ιδεατής ζώνης)
Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, Vtemp, v2, v2, v2, v2
ACideal(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
' Παραμένον φορτίο στην ιδεατή ζώνη
Input #3, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, v2, Vtemp, v2, v2
Qstay(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Vtemp
' Θερμοκρασία νερού στην έξοδο του συστήματος
Tw(MONTHS, BLG, DAY, 0, SimStep) = Tw(MONTHS, BLG, DAY - 1, 24, SimStep)
Tw(MONTHS, BLG, 1, 0, SimStep) = Tw(MONTHS, BLG - 1, 10, 24, SimStep)
Tw(MONTHS, 1, 1, 0, SimStep) = Tw(MONTHS - 1, 3, 10, 24, SimStep)
Maza = (WallArea * 3.1415 * D * 1000 / 4) * 1000 για να γίνουν κιλά τα m3
TwOut(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) -
(T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) - Twin) * Exp(-(SurfCoef * WallArea / (MWater * Cp)))
Tw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 0.5 * (TwOut(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) +
Twin)
' Έλεγχος θερμοστάτη
If SimStep <> 0 Then
If Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, 0) = 99.999 Then
Counter(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 0
Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 99.999
ElseIf Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, 0) = 20 Then
Counter(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 1
Ccount = Ccount + 1
Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Tw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep)
End If
End If
If SimStep = 0 Then
Diff(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 1
Else
Diff(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Abs(Tz(MONTHS, BLG, DAY, HOUR,
SimStep - 1) - Tz(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep))
End If
Next HOUR
Next DAY
Close #3
Next BLG
Next MONTHS
End Sub
Sub WriteResults(ResultsFile)
Ptwsipiesis
Dim i As Long
Open ResultsFile For Output As #1
Print #1, "Qoo"; vbTab; "Tamb"; vbTab; "TZone"; vbTab; "TWater"; vbTab; "TWaterOut"; vbTab; "Qsystem";
vbTab; "DT"; vbTab; "Counter";
For Wall = 1 To 16
Print #1, vbTab; "Twall No"; Wall;
Next
Print #1, vbTab; "Twater(Suncode)"; vbTab; "Tsp"; vbTab; "RH"; vbTab; "MeanTRad"; vbTab; "PMV"; vbTab;
"PPD";
vbTab; "ACload"; vbTab; "ACideal"; vbTab; "Qin"; vbTab; "Qout"; vbTab; "QWin"; vbTab; "QWout"; vbTab;
"Twall No"; Wall; vbTab; DPF
For MONTHS = 1 To 5
For BLG = 1 To 3
For DAY = 1 To 10
For HOUR = 1 To 24
i = i + 1
Print #1, i; vbTab;
Print #1, Round(Tamb(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep), 2); vbTab;
Print #1, T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, Tw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, TwOut(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, Round((Qin(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) + Qout(MONTHS, BLG, DAY,
HOUR, SimStep)), 2); vbTab;
Print #1, Diff(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, Counter(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep - 1); vbTab;
For Wall = 1 To 16
Print #1, Tzw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, Wall); vbTab;
Next Wall
Print #1, Tz(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, Tsp(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep - 1); vbTab;
Print #1, RH(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
MeanTRadiation
Print #1, MesITrad(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
PMVPPD

```


III.9

Module1.bas

```

Print #1, PMV(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab; PPD(MONTHS, BLG, DAY,
HOOR, SimStep); vbTab;
Print #1, -ACload(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, -ACideal(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, Qin(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, Qout(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep); vbTab;
Print #1, QWin(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, 3); vbTab;
Print #1, QWout(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, 3); vbTab;
Print #1, Tzw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, 17)
Next HOUR
Next DAY
Next BLG
Next MONTHS
Close
End Sub

Sub MeanTRadiation()
For Wall = 2 To 17
Select Case Wall
Case 2
Emvado = 90.5
Case 3
Emvado = WallArea
Case 5
Emvado = 12.9
Case 6
Emvado = 15.1
Case 7
Emvado = 11.6
Case 8
Emvado = 15.7
Case 9
Emvado = 9.2
Case 10
Emvado = 19.4
Case 11
Emvado = 10.6
Case 12
Emvado = 22.7
Case 13
Emvado = 19.3
Case 14
Emvado = 45.8
Case 15
Emvado = 6.3
Case 16
Emvado = 2.1
Case 17
Emvado = 90.5 - WallArea
End Select
Tzw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, 1) = 0
Tzw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, 4) = 0
MesiTRad(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Tzw(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep, Wall) * (Emvado /
371.7) + MesiTRad(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep)
Next Wall
End Sub

Sub Ptwsipiesis()
Fcoef = 0.25 / ((Log((0.000025 / (3.7 * D)) + (5.74 / (REynolds ^ 0.9)))) ^ 2)
DPF = Fcoef * (WallArea / (D ^ 2)) * 500 * (VELOCITY ^ 2) 'σε Pascal
End Sub

```

Π1.10

Module3.bas

```
'Αυτές είναι κλήσεις σε ρουτίνες συστήματος (Windows)
Private Declare Function OpenProcess Lib "kernel32" (ByVal dwDesiredAccess As Long, ByVal bInheritHandle As
Long, ByVal dwProcessId As Long) As Long
Private Declare Function WaitForSingleObject Lib "kernel32" (ByVal hHandle As Long, ByVal dwMilliseconds As
Long) As Long
Private Declare Function CloseHandle Lib "kernel32" (ByVal hObject As Long) As Long
Private Const SYNCHRONIZE = &H100000
Private Const INFINITE = -1&

' Start the indicated program and wait for it to finish, hiding while we wait.
Public Sub ShellAndWait(ByVal program_name As String)
Dim process_id As Long
Dim process_handle As Long

' Start the program.
On Error GoTo ShellError
    process_id = Shell(program_name, vbNormalFocus)
On Error GoTo 0
'DoEvents

' Wait for the program to finish.
' Get the process handle.
process_handle = OpenProcess(SYNCHRONIZE, 0, process_id)
If process_handle <> 0 Then
    WaitForSingleObject process_handle, INFINITE
    CloseHandle process_handle
End If
Exit Sub
ShellError:
MsgBox "Error starting task " & program_name & vbCrLf & Err.Description
End Sub
```

Π1.11

Module2.bas

```
Public SimulationFinished As Boolean, Check2 As Boolean, xrisiAC As Boolean

Public SimStep As Integer 'Μετρητής πλήθους επαναλήψεων
Public MyFile As String, RESULTS
Public Twin As Double, Cp As Double, D As Double, MWater As Double, WallArea As Double
Public v1 As String, SurfCoef As Double, SUMdiff As Single, Wall As Integer
Public MONTHS As Integer, BLG As Integer, DAY As Integer, HOUR As Integer
Public Thermostat As Double, ThermostatAC As Double, Paxos As Double
Public Town As String, Latitude As String, Mikos As String, TownHeight As String
Public Capacity As Single, CapacityAC As Double
Public QWou, Fcoef, DPF, QWi
Public QWout(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15, 0 To 17) As Double
Public QWin(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15, 0 To 17) As Double
Public AA(1 To 3600)
Public T(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public TWaterOut(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public ACload(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public ACideal(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Taa(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Tra(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Tcla(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Tcl(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Ts(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public PMV(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public FPD(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public RH(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Tw(0 To 5, 0 To 3, 0 To 10, 0 To 24, 0 To 15) As Double
Public Told(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Qin(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Qout(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Qstay(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Diff(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public TwOut(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double
Public Counter(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, -1 To 15) As Integer
Public Tamb(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double 'Ατμοσφαιρική θερμοκρασία
Public Tsp(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, -1 To 15) As Double 'Θερμοκρασία θερμοστάτη ιδεατής ζώνης
Public Tz(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double 'Θερμοκρασία ζώνης (απο αποτελέσματα
Suncode)
Public Tzw(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15, 0 To 17) As Double 'Θερμοκρασία τοίχων (απο
αποτελέσματα Suncode)
Public MesITRad(1 To 5, 1 To 3, 1 To 10, 1 To 24, 0 To 15) As Double

Public Vtemp, v2, Klimatistiko, isxysAC, Emvado, VELOCITY, REynolds, Viscosity
Public MonthStart As String, CONductivity, DENsity, ALPHA, PRandtl, NUsselt, Maza
Public ResultsFile As String
Public InititalWaterTemp As Double
```

Π1.12

Module4.bas

```

Dim XLS As Excel.Application
'Ρουτίνα για τη δημιουργία αρχείου Excel
Sub CreateXLSFile()
    'Τρέξιμο της επόμενης(κοίτα παρακάτω) ρουτίνας
    OpenSheet

    With XLS
        .Workbooks.Open FileName:=ResultsFile
        .Visible = True
        .Selection.End(xlDown).Select
        .Charts.Add
        .ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmoothNoMarkers
        .ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = """"Θερμοκρασία κατοικίας""""
        .ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = """"Γράφημα Θερμοκρασιών""""
        .ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet, Name:= _
            "Γράφημα Θερμοκρασιών"
    With ActiveChart
        .HasTitle = True
        .ChartTitle.Characters.Text = "Θερμοκρασία κατοικίας"
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Χρόνος (ώρες)"
        .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Θερμοκρασία"
    End With
        .ActiveChart.HasLegend = True
        .ActiveChart.Legend.Select
        .Selection.Position = xlRight
        .ActiveChart.Legend.Select
        .Selection.Position = xlBottom
        .ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
    With ActiveChart.Axes(xlCategory)
        .MinimumScale = 0
        .MaximumScale = 500
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
        .ActiveChart.Axes(xlValue).Select
    With ActiveChart.Axes(xlValue)
        .MinimumScale = 15
        .MaximumScale = 45
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
        .ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
    With ActiveChart.Axes(xlCategory)
        .MinimumScale = 1700
        .MaximumScale = 2200
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
        .ActiveChart.PlotArea.Select
        .Selection.Top = 1
        .Selection.Height = 397
        .Selection.Width = 700
        .Selection.Height = 412
        .Selection.Height = 401
        .ActiveChart.ChartTitle.Select
        .Selection.Left = 304
        .Selection.Top = 18
    With Selection.Border
        .Weight = xlHairline
        .LineStyle = xlAutomatic
    End With
        .Selection.Shadow = False
        .Selection.Interior.ColorIndex = xlAutomatic
        .ActiveChart.PlotArea.Select
        .ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
        .ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
        .ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = ""
        .ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = """"Θερμοκρασία Περιβάλλοντος""""
        .ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=RESULTS!R1700C3:R2200C3"
        .ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = """"Θερμοκρασία Κατοικίας""""
        .ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "=RESULTS!R1700C25:R2200C25"
        .ActiveChart.SeriesCollection(3).Name = """"Θερμοκρασία Νερού (μέση)""""
        .ActiveChart.Axes(xlCategory).Select

```

Π1.13

Module4.bas

```

With ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .MinimumScale = 0
    .MaximumScale = 500
    .MinorUnitIsAuto = True
    .MajorUnitIsAuto = True
    .Crosses = xlAutomatic
    .ReversePlotOrder = False
    .ScaleType = xlLinear
    .DisplayUnit = xlNone
End With
.ActiveChart.PlotArea.Select
.ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTS!R1700C2:R2200C2"
.Sheets("RESULTS").Select
.Charts.Add
.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmoothNoMarkers
.ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = ""
.ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTS!R1700C27:R2200C27"
.ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = """"Σχετική υγρασία"""
.ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:="RESULTS"
With ActiveChart
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Χρόνος (ώρες)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Σχετική υγρασία (%)"
End With
.ActiveChart.HasLegend = False
.ActiveChart.ChartArea.Select
.ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet, Name:="Σχετική υγρασία"
.ActiveChart.PlotArea.Select
.Selection.Width = 688
.Selection.Left = 31
.Selection.Top = 1
.Selection.Height = 417
.Selection.Width = 696
.Selection.Height = 416
.ActiveChart.ChartTitle.Select
.Selection.Left = 327
.Selection.Top = 13
With Selection.Border
    .Weight = xlHairline
    .LineStyle = xlAutomatic
End With
.Selection.Shadow = False
.Selection.Interior.ColorIndex = xlAutomatic
.ActiveChart.Axes(xlValue).Select
With ActiveChart.Axes(xlValue)
    .MinimumScale = 0
    .MaximumScale = 1
    .MinorUnitIsAuto = True
    .MajorUnitIsAuto = True
    .Crosses = xlAutomatic
    .ReversePlotOrder = False
    .ScaleType = xlLinear
    .DisplayUnit = xlNone
End With
.Selection.TickLabels.NumberFormat = "0%"
.ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
With ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .MinimumScale = 0
    .MaximumScale = 500
    .MinorUnitIsAuto = True
    .MajorUnitIsAuto = True
    .Crosses = xlAutomatic
    .ReversePlotOrder = False
    .ScaleType = xlLinear
    .DisplayUnit = xlNone
End With
.Sheets("RESULTS").Select
.Charts.Add
.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmoothNoMarkers
.ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = ""
.ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTS!R1700C29:R2200C29"
.ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = """"PMV"""
.ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet, Name:="PMV"
With ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Characters.Text = "PMV"
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Χρόνος (ώρες)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text =
        "Δείκτης Θερμικής Άνεσης (-3=Αίσθηση Ψύχους, 0=Θερμική ουδετερότητα, +3=Αίσθηση Θερμικής
        δυσφορίας)"
End With
.ActiveChart.HasLegend = False
.ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
With Selection.Border

```

Π1.14

Module4.bas

```

        .Weight = xlHairline
        .LineStyle = xlAutomatic
    End With
    With Selection
        .MajorTickMark = xlNone
        .MinorTickMark = xlNone
        .TickLabelPosition = xlLow
    End With
    With ActiveChart.Axes(xlCategory)
        .MinimumScale = 0
        .MaximumScale = 500
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
    .ActiveChart.Axes(xlValue).Select
    With ActiveChart.Axes(xlValue)
        .MinimumScale = -3
        .MaximumScale = 3
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
    .ActiveChart.PlotArea.Select
    .Selection.Left = 37
    .Selection.Top = 1
    .Selection.Width = 682
    .Selection.Height = 417
    .Selection.Width = 690
    .Selection.Height = 421
    .ActiveChart.ChartTitle.Select
    .Selection.Top = 17
    With Selection.Border
        .Weight = xlHairline
        .LineStyle = xlAutomatic
    End With
    .Sheets("RESULTS").Select
    .Charts.Add
    .ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmoothNoMarkers
    .ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = ""
    .ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTS!R1700C30:R2200C30"
    .ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = """"PMV""""
    .ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet, Name:="PPD"
    With ActiveChart
        .HasTitle = True
        .ChartTitle.Characters.Text = "PPD"
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Χρόνος (ώρες)"
        .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = _
            "Ποσοστό στατιστικά δυσφορούστων"
    End With
    .ActiveChart.HasLegend = False
    .ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
    With Selection.Border
        .Weight = xlHairline
        .LineStyle = xlAutomatic
    End With
    With Selection
        .MajorTickMark = xlNone
        .MinorTickMark = xlNone
        .TickLabelPosition = xlLow
    End With
    With ActiveChart.Axes(xlCategory)
        .MinimumScale = 0
        .MaximumScale = 500
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
    .ActiveChart.Axes(xlValue).Select
    With ActiveChart.Axes(xlValue)
        .MinimumScale = 0
        .MaximumScale = 100
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
    End With

```

```

        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
    .ActiveChart.PlotArea.Select
    .Selection.Left = 37
    .Selection.Top = 1
    .Selection.Width = 682
    .Selection.Height = 417
    .Selection.Width = 690
    .Selection.Height = 421
    .ActiveChart.ChartTitle.Select
    .Selection.Top = 17
    With Selection.Border
        .Weight = xlHairline
        .LineStyle = xlAutomatic
    End With
    .Selection.Shadow = False
    .Selection.Interior.ColorIndex = xlAutomatic
    .Sheets("PMV").Select
    .Sheets("PMV").Select
    .ActiveChart.PlotArea.Select
    .ActiveChart.ChartTitle.Select
    With Selection.Border
        .Weight = xlHairline
        .LineStyle = xlAutomatic
    End With
    .Selection.Shadow = False
    .Selection.Interior.ColorIndex = xlAutomatic
    .Sheets("Γράφημα @εργασιών").Select
    .Sheets("Γράφημα @εργασιών").Move After:=Sheets(5)
    .Sheets("Εξωτερική ύπαρξη").Select
    .Sheets("Εξωτερική ύπαρξη").Move After:=Sheets(5)
    .Sheets("PMV").Select
    .Sheets("PMV").Move After:=Sheets(5)
    .Sheets("PPD").Select
    .Sheets("PPD").Move After:=Sheets(5)
    .Sheets("PMV").Select
    .ActiveChart.ChartArea.Select
    .Sheets("PPD").Select
    .ActiveChart.ChartArea.Select
    .Sheets("Εξωτερική ύπαρξη").Select
    .ActiveChart.ChartArea.Select
    .Sheets("Γράφημα @εργασιών").Select
    .ActiveChart.ChartArea.Select
    .Sheets("RESULTS").Select
    .Range("A1:AD1").Select
    With Selection.Interior
        .ColorIndex = 5
        .Pattern = xlSolid
    End With
    .Selection.Font.ColorIndex = 2
    .ActiveWindow.SplitRow = 0.941176470588235
    .ActiveWindow.SmallScroll Down:=-1
    .ActiveWindow.Panes(1).Activate
    Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ωρα"
    Range("A2").Select
    .ActiveWindow.SmallScroll Down:=-1
    Rows("1:1").Select
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .WrapText = True
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With
    .ActiveWindow.SplitRow = 1
    .Columns("E:E").EntireColumn.AutoFit
    .Columns("E:E").ColumnWidth = 10.71
    .Columns("AB:AB").ColumnWidth = 10.57
    .ActiveWindow.Panes(3).Activate
    Range("A2").Select
    .Application.WindowState = xlMaximized
    .Columns("Y:Y").ColumnWidth = 13.86
    .ActiveWindow.FreezePanes = True
    Range("A1:AD1").Select
    .Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    .Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With

```

Π1.16

Module4.bas

```

With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
.Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
.Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlMedium
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
.Range("A2").Select
.Range("E10").Select
.Columns("B:B").ColumnWidth = 15
.Columns("B:B").ColumnWidth = 16.43
.Rows("2:2").RowHeight = 100.5
.Sheets("PPD").Select
.Sheets.Add
.Sheets("Φύλλο1").Select
.Sheets("Φύλλο1").Move After:=Sheets(6)
.Cells.Select
With Selection.Interior
    .ColorIndex = 34
    .Pattern = xlSolid
End With
.Range("G10").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος"
.Range("G11").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος"
.Range("G12").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "Μέγιστη θερμοκρασία χώρου"
.Range("G13").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ελάχιστη θερμοκρασία χώρου"
.Range("G14").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "Συνολική κατανάλωση ενέργειας"
.Range("H10").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MAX(RESULTS!R[-8]C[-6]:R[3591]C[-6])"
.Range("H10").Select
.Selection.Copy
.Range("H11").Select
.Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormulas, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
.Application.CutCopyMode = False
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MIN(RESULTS!R[-8]C[-6]:R[3591]C[-6])"
.Range("H10:H11").Select
.Selection.Copy
.Range("H12:H13").Select
.Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormulas, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
.Application.CutCopyMode = False
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MAX(RESULTS!R[-8]C[-5]:R[3591]C[-5])"

```


Π1.17

Module4.bas

```

.Range("H13").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MIN(RESULTS!R[-8]C[-5]:R[3591]C[-5])"
.Range("H14").Select
.Selection.FormulaR1C1 = "="
.Range("H14").Select
.Selection.FormulaR1C1 = ""
.Range("H14").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=SUM(RESULTS!R[-12]C[14]:R[3587]C[14])"
.Range("G14").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "Συνολική κατανάλωση ενέργειας (GJ)"
.Range("H14").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=SUM(RESULTS!R[-12]C[14]:R[3587]C[14])/1000000"
.Range("G10:H14").Select
With Selection.Font
    .Name = "Arial Greek"
    .Size = 20
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
.Columns("F:F").ColumnWidth = 0.33
.Range("H11").Select
.Columns("G:G").ColumnWidth = 22.57
.Columns("G:G").EntireColumn.AutoFit
.Columns("D:F").ColumnWidth = 0
.Columns("C:C").ColumnWidth = 8.29
.Columns("H:H").ColumnWidth = 17.71
.Columns("H:H").ColumnWidth = 20.57
.Range("H10:H14").Select
.Selection.NumberFormat = "0.000"
.Range("G6:H7").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
.Selection.Merge
.Range("G6:H7").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ"
.Range("G6:H7").Select
With Selection.Font
    .Name = "Arial Greek"
    .Size = 26
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
.Range("C5:I7").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlGeneral
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = True
End With
.Selection.UnMerge
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
.Selection.Merge
.Selection.Interior.ColorIndex = 40

```

Π1.18

Module4.bas

```

.Range("G10:H14").Select
.Selection.Interior.ColorIndex = 40
.Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
.Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
.Range("C5:I7").Select
.Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
.Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlMedium
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlMedium
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlMedium
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlMedium
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
.Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
.Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
.Range("A1").Select
.Sheets("Φύλλο1").Select
.Sheets("Φύλλο1").Name = "Εύνοψη"
.Rows("4:4").RowHeight = 34.5
.Rows("4:4").RowHeight = 44.25
.ActiveWindow.DisplayHeadings = False
.Sheets("RESULTS").Select
.ActiveWindow.DisplayHeadings = False
.Range("A2").Select
.Sheets("RESULTS").Select
.Selection.Rows.AutoFit
.Sheets("Εύνοψη").Select
.Range("H11").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MIN(RESULTS!R[-9]C[-6]:R[3590]C[-6])"
.Range("H12").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MAX(RESULTS!R[-10]C[-5]:R[3589]C[-5])"
.Range("H13").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MIN(RESULTS!R[-11]C[-5]:R[3588]C[-5])"
.Range("H14").Select
.ActiveCell.FormulaR1C1 = "=SUM(RESULTS!R[-12]C[23]:R[3587]C[23])/1000000"
.Range("H15").Select
.Sheets("RESULTS").Select
.Range("AE1").Select
With Selection.Interior
.ColorIndex = 5
.Pattern = xlSolid
End With
.Selection.Font.ColorIndex = 2

```

```

.Range("A2").Select
.Sheets("Σύνοψη").Select
.Range("H10:H13").Select
.Selection.NumberFormat = "0.0"
.Range("A1").Select
End With
.Sheets("RESULTS").Select
Range("AF1:AJ1").Select
Range("AJ1").Activate
With Selection.Interior
.ColorIndex = 5
.Pattern = xlSolid
End With
Selection.Font.ColorIndex = 2
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
.LineStyle = xlContinuous
.Weight = xlThin
.ColorIndex = xlAutomatic
End With
Range("A2").Select
Sheets("Σύνοψη").Select
Range("A1").Select

Range("G14:H14").Select
Selection.Copy
Range("G15:H15").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Range("G15").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Ωρες λειτουργίας συστήματος GWC"
Range("H15").Select
Selection.FormulaR1C1 = ""
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=SUM(RESULTS!R[-13]C:R[3586]C)"
Range("H15").Select
Selection.NumberFormat = "0.00"
Selection.NumberFormat = "0.0"
Selection.NumberFormat = "0"
Range("A1").Select
Sheets("RESULTS").Select
Range("AK2:AK3601").Select
Selection.End(xlUp).Select
Range("AK1:AK3601").Select
Selection.Cut
Range("Y1:Y3601").Select
Selection.Insert Shift:=xlToRight
Range("Y1").Select
Selection.ColumnWidth = 8.43
Range("Z1").Select
Selection.ColumnWidth = 8.43
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Twater (Suncode)"
With ActiveCell.Characters(Start:=1, Length:=16).Font
.Name = "Arial Greek"
.FontStyle = "Καλλιγράφο"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = 2
End With
Range("Z2").Select
Sheets("PMV").Select

```

Π1.20

Module4.bas

```

ActiveChart.ChartArea.Select
Sheets("RESULTS").Select
Range("X1").Select
Selection.Copy
Range("Y1").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Sheets("RESULTS").Select
Range("A2").Select
Sheets("Έυνοψη").Select
Range("A1").Select
Sheets("RESULTS").Select
Range("AC1").Select
Selection.ColumnWidth = 9.5
Range("A2").Select
Sheets("Έυνοψη").Select
Range("H16").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RESULTS!R[-15]C[30]/1000/9.81"
Range("G15").Select
Selection.Copy
Range("G16:H16").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Range("H16").Select
Selection.NumberFormat = "0.00"
Range("G16").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Πίωση πίεσης (m)"
Range("A1").Select
Sheets("RESULTS").Select
Range("A2").Select
Sheets("Έυνοψη").Select
ChDir App.Path
If Dir(App.Path & "\RESULTS\" & "RESULTS" & WallArea & "-" & MWater & "-" & D & "-" & Twin & "-" &
isxysAC & "-" & Thermostat & ".xls") <> "" Then Kill App.Path & "\RESULTS\" & "RESULTS" & WallArea & "-" &
MWater & "-" & D & "-" & Twin & "-" & isxysAC & "-" & Thermostat & ".xls"
    ActiveWorkbook.SaveAs FileName:=
        App.Path & "\RESULTS\" & "RESULTS" & WallArea & "-" & MWater & "-" & D & "-" & Twin & "-" & isxysAC
& "-" & Thermostat & ".xls", _
        FileFormat:=xlNormal, Password:="", WriteResPassword:="", ReadOnlyRecommended:=False,
CreateBackup:=False

    Set XLS = Nothing
    Close

End Sub
'Βοηθητική ρουτίνα για έλεγχο του Excel (Ελέγχει εάν είναι ανοικτό το Excel)

Sub OpenSheet()
Dim ExcelRunning As Boolean
    ExcelRunning = IsExcelRunning()
If IsExcelRunning Then
    'Εάν το Excel είναι ήδη ανοικτό, μην ξανατράχεις την εφαρμογή
    'και γερμίσει η μνήμη, απλά δημιουργήσε μια αναφορά σε αυτό
    Set XLS = GetObject(, "Excel.Application")
Else
    'Εάν δεν τρέχει το Excel, τότε τρέξε το
    Set XLS = New Excel.Application ' CreateObject("Excel.Application")
End If
End Sub
'Βοηθητική ρουτίνα για έλεγχο του Excel
Function IsExcelRunning() As Boolean
On Error Resume Next
    Set XLS = GetObject(, "Excel.Application")
    IsExcelRunning = (Err.Number = 0)
    Set XLS = Nothing
    Err.Clear
End Function

```

Π1.21

Module5.bas

```

Sub PMVPPD()
Clo = 0.7
Met = 1.2
Wme = 0
Vel = 0.25
'ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΕΙΤΕ RH, ΕΙΤΕ ΠΙΕΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ. ΟΧΙ ΚΑΙ ΤΑ ΔΥΟ
  If Pa = 0 Then Pa = RH(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) * 10 * (Exp(16.6536 - 4030.183 / (T(MONTHS,
BLG, DAY, HOUR, SimStep) + 235))) 'Πίεση υδρατμών, Pa
Icl = 0.155 * Clo 'Θερμική προστασία ένδυσης(m2K/W)
M = Met * 58.15 'Ρυθμός μεταβολισμού σε W/m2
W = Wme * 58.15 'Εξωτερικό έργο σε W/m2
MW = M - W 'Εσωτερική παραγωγή θερμότητας από το σώμα
  If Icl < 0.078 Then
    Fcl = 1 + 1.29 * Icl
  Else
    Fcl = 1.05 + 0.645 * Icl 'Συντελεστής κάλυψης σώματος
  End If
Hcf = 12.1 * Sqr(Vel) 'Συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με μεταφορά
Taa(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) + 273 'Θερμοκρασία αέρα σε Kelvin
Tra(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = MesitRad(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) + 273 'Μέση θερμοκρασία
ακτινοβολίας σε Kelvin
Tcla(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Taa(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) + (35.5 - T(MONTHS, BLG, DAY,
HOUR, SimStep)) / (3.5 * (6.45 * Icl + 0.1)) 'Αρχική εκτίμηση θερμοκρασίας
p1 = Icl * Fcl
p2 = p1 * 3.96
p3 = p1 * 100
p4 = p1 * Taa(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep)
p5 = 308.7 - 0.028 * MW + p2 * (Tra(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) / 100) ^ 4
Xn = Tcla(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) / 100
Xf = Xn
N = 0 'N: αριθμός επαναλήψεων
EPS = 0.00015 'κρίτήριο σύγκλησης
  Do
    Xf = (Xf + Xn) / 2
    Hcn = 2.38 * Abs(100 * Xf - Taa(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep)) ^ 0.25
    If Hcf > Hcn Then
      Hc = Hcf
    Else
      Hc = Hcn
    End If
    Xn = (p5 + p4 * Hc - p2 * Xf ^ 4) / (100 + p3 * Hc)
    N = N + 1
    If N > 150 Then Exit Do
  Loop While Abs(Xn - Xf) > EPS
Tcl(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 100 * Xn - 273
H11 = 3.05 + 0.001 * (5733 - 6.99 * MW - Pa)
  If MW > 58.15 Then
    H12 = 0.42 * (MW - 58.15)
  Else
    H12 = 0
  End If
H13 = 1.7 * 0.00001 * M * (5867 - Pa)
H14 = 0.0014 * M * (34 - T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep))
H15 = 3.96 * Fcl * (Xn ^ 4 - (Tra(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) / 100) ^ 4)
H16 = Fcl * Hc * (Tcl(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) - T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep))
Ts(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 0.303 * Exp(-0.036 * M) + 0.028
PMV(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = Ts(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) * (MW - H11 - H12 - H13 - H14 -
H15 - H16)
PPD(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) = 100 - 95 * Exp(-0.03353 * PMV(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) ^ 4 -
0.217 * PMV(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) ^ 2)
End Sub

Function FNPS(T)
  FNPS = Exp(16.6536 - 4030.183 / (T(MONTHS, BLG, DAY, HOUR, SimStep) + 235))
End Function

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Αρχεία εισόδου – εξόδου στο SUNCODE-PC

Στο παράρτημα 2 παρουσιάζονται:

- Το αρχείο κειμένου mitra.blg, το οποίο τροποποιείται από το μοντέλο προκειμένου να παραχθούν τα 15 αρχεία εισόδου στο SUNCODE-PC
- Ένα ενδεικτικό αρχείο εισόδου στο SUNCODE-PC για το δεύτερο 10ήμερο του Ιουνίου
- Ενδεικτικά, τα αποτελέσματα του SUNCODE-PC, για 2 μόνο ώρες της περιόδου προσομοίωσης

Π2.2

mitra.blg

EnMan Suncode tolis

RUNS

water SALONICA 0.3 18. JUL 15. JUL 15. <NONE> <NONE>

ZONES

ktirio hvac 90.5 3. infilng 0.3 0.15 intgain latgain
 water hvac2 90.5 0.1 0. 0.3 0.15 0.000 0.000

WINDOWS

ktirio east kourtina 1.3 2.6 1.8 0.90
 ktirio north double 1.3 5.2 2.8 0.90
 ktirio west kourtina 1.3 2.6 1.8 0.90
 ktirio south double 1.3 3.9 4.2 0.90

WALLS

WaterSur water 57. <AREA> water 57. <AREA> 90.5
 patoma ktirio 5.88 <AREA> GROUND 0. <AREA> 90.5
 underWAT ktirio 8.33 <AREA> water 57. <AREA> 90.5
 orofi water 57. <AREA> roof 25. 0.7 90.5
 extconc ktirio 8.33 <AREA> east 25. 0.3 12.9
 extconc ktirio 8.33 <AREA> north 25. 0.3 15.1
 extconc ktirio 8.33 <AREA> west 25. 0.3 11.6
 extconc ktirio 8.33 <AREA> south 25. 0.3 15.7
 extwall ktirio 8.33 <AREA> east 25. 0.3 9.2
 extwall ktirio 8.33 <AREA> north 25. 0.3 19.4
 extwall ktirio 8.33 <AREA> west 25. 0.3 10.6
 extwall ktirio 8.33 <AREA> south 25. 0.3 22.7
 intconc ktirio 8.33 <AREA> ktirio 8.33 <AREA> 19.3
 intwall ktirio 8.33 <AREA> ktirio 8.33 <AREA> 45.8
 intporta ktirio 8.33 <AREA> ktirio 8.33 <AREA> 6.3
 porta ktirio 8.33 <AREA> north 8.33 0.3 2.1
 OrofiXwr ktirio 8.33 <AREA> roof 25. 0.3 0.1

SURFACES

north 360. 90. 3. 12.4 <NONE> <NONE> <NONE>
 west 90. 90. 3. 7.3 <NONE> <NONE> <NONE>
 south 180. 90. 3. 12.4 provolos <NONE> <NONE>
 east 270. 90. 3. 7.3 <NONE> <NONE> <NONE>
 roof 0. 0. 7.3 12.4 <NONE> <NONE> <NONE>

HVAC.TYPES

hvac2 <NONE> <NONE> cooling <ADEQ> <ADEQ> 16.13 12.8
 hvac <NONE> <NONE> <NONE> <ADEQ> <ADEQ> 16.13 12.8

WALL.TYPES

extconc plaster CON20 polstrin5 plaster <NONE> <NONE>
 extwall plaster touvlo polstrin5 touvlo plaster <NONE>
 intconc plaster intCON15 plaster <NONE> <NONE> <NONE>
 intwall plaster intouvlo plaster <NONE> <NONE> <NONE>
 patoma plakaki plaster polstrin5 intCON15 <NONE> <NONE>
 intporta wood <NONE> <NONE> <NONE> <NONE> <NONE>
 porta wood <NONE> <NONE> <NONE> <NONE> <NONE>
 orofi swlinas plaster CON20 LWConc polstro17 <NONE>
 WaterSur WaterMat
 underWAT swlinas
 OrofiXwr plaster CON20 LWConc polstro17 <NONE>

MASS.TYPES

CON20 1.28 2100. 0.82 0.20 5.
 WaterMat 0.70 1000. 4.18 0.005 1.
 touvlo 0.36 1300. 0.79 0.10 3.
 plaster 0.79 1570. 1. 0.025 1.
 intCON15 1.28 2100. 0.82 0.15 3.
 intouvlo 0.36 1300. 0.79 0.10 2.
 LWConc 0.38 1200. 1. 0.07 2.
 wood 0.13 630. 1.36 0.05 1.
 polstrin5 0.041 25. 1.21 0.05 1.

Π2.3

	mitra.blg					
polstrol7	0.029	20.		1.21	0.07	1.
plakaki	0.85	1900.		0.78	0.015	1.
swlinas	9.99	8900.		0.512	0.002	1.
GLAZING.TYPES						
double	3.26	1.0	0.016	1.5260	4.	2.
kourtina	3.26	0.5	0.016	1.5260	4.	2.
OUTPUTS						
ZONES	H	M	DAYS	1.	6.	N
WALLS	H	M	DAYS	3.	1.	N
ZONES	H	M	DAYS	2.	6.	N
WALLS	H	M	DAYS	1.	1.	N
AMBIENT	H	M	DAYS	1.	1.	N
ZONES	H	M	DAYS	1.	4.	N
ZONES	H	M	DAYS	1.	5.	N
WALLS	H	M	DAYS	4.	1.	N
ZONES	H	M	DAYS	2.	5.	N
ZONES	H	M	DAYS	2.	3.	N
OVERHANG.TYPES						
provolos	0.	1.5				
SCHEDULES						
intgain	YEARall	9.	0.6	20.	0.3	
latgain	YEARall	9.	0.3			
infilng	YEARsum	9.	1.	20.	6.	
cooling	DAY	9.	15.			
SEASONS						
YEARall	JAN	1.	DEC	31.	ALL	
YEARsum	MAY	1.	SEP	30.	ALL	
YEARwin	OCT	1.	APR	30.	ALL	
DAY	JUL	15.	JUL	15.	ALL	
STATIONS						
SALONICA	40.38	22.57	10.	SALONICA.DAT	3.	M JAN 1. DEC 31.

END OF FILE

Π2.4

coolJUN2.blg

SUNCODE VERSION 6.0
BUILDING ENERGY ANALYSIS PROGRAM

COPYRIGHT 1981,1985 TERRY WHEELING AND LARRY PALMITER
ECOTOPE, INC. 2812 EAST MADISON, SEATTLE, WA 98112

BUILDING DESCRIPTION INPUT

RUNS

*	RUN LABEL	STATION NAME	GROUND REFL. [FRAC]	GROUND TEMP. [C]	-START- MON DAY [DATE]	-STOP-- MON DAY [DATE]	SKYLINE PROFILE	PAR. TYPE
(1)	water	SALONICA	0.3	18.	JUN 11.	JUN 20.	<NONE>	<NONE>

ZONES

*	ZONE NAME	HVAC TYPE	FLOOR AREA [SM]	HGT [M]	INFIL. RATE [AC/H]	SOLAR TO AIR [FRAC]	SOLAR LOST [FRAC]	INTERNAL GAIN [KW]	LATENT GAIN [KW]
(1)	ktirio	hvac	90.5	3.	infilng	0.3	0.15	intgain	latgain
(2)	water	hvac2	30.	0.1	0.	0.3	0.15	0.000	0.000

WINDOWS

*	INTERIOR ZONE	EXTERIOR SURFACE	GLAZING TYPE	HEIGHT [M]	LENGTH [M]	---LOCATION---	
*						HORZ. [M]	VERT. [M]
(1)	ktirio	east	kourtina	1.3	2.6	1.8	0.90
(2)	ktirio	north	double	1.3	5.2	2.8	0.90
(3)	ktirio	west	kourtina	1.3	2.6	1.8	0.90
(4)	ktirio	south	double	1.3	3.9	4.2	0.90

WALLS

*	WALL TYPE	--FRONT/INTERIOR ZONE NAME	SURF COEF [W/C -SM]	SIDE-- SOLAR COEF. [FRAC]	--BACK/EXTERIOR ZONE OR SURFACE, AMBIENT, GROUND	SIDE--- COEF [W/C -SM]	WALL SOLAR COEF. [FRAC]	WALL AREA [SM]
(1)	WaterSur	water	57.	<AREA>	water	57.	<AREA>	30.
(2)	patoma	ktirio	5.88	<AREA>	GROUND	0.	<AREA>	90.5
(3)	underWAT	ktirio	8.33	<AREA>	water	57.	<AREA>	30.
(4)	orofi	water	57.	<AREA>	roof	25.	0.7	30.
(5)	extconc	ktirio	8.33	<AREA>	east	25.	0.3	12.9
(6)	extconc	ktirio	8.33	<AREA>	north	25.	0.3	15.1
(7)	extconc	ktirio	8.33	<AREA>	west	25.	0.3	11.6
(8)	extconc	ktirio	8.33	<AREA>	south	25.	0.3	15.7
(9)	extwall	ktirio	8.33	<AREA>	east	25.	0.3	9.2
(10)	extwall	ktirio	8.33	<AREA>	north	25.	0.3	19.4
(11)	extwall	ktirio	8.33	<AREA>	west	25.	0.3	10.6

Π2.5

coolJUN2.blg

SUNCODE V 6.0	BUILDING DESCRIPTION INPUT						P 2
(12) extwall	ktirio	8.33	<AREA>	south	25.	0.3	22.7
(13) intconc	ktirio	8.33	<AREA>	ktirio	8.33	<AREA>	19.3
(14) intwall	ktirio	8.33	<AREA>	ktirio	8.33	<AREA>	45.8
(15) intporta	ktirio	8.33	<AREA>	ktirio	8.33	<AREA>	6.3
(16) porta	ktirio	8.33	<AREA>	north	8.33	0.3	2.1
(17) OrofiXwr	ktirio	8.33	<AREA>	roof	25.	0.3	60.5

SURFACES

* EXTERIOR SURFACE	COMPASS AZIMUTH	TILT	HEIGHT	LENGTH	OVERHANG TYPE	LEFT SIDEFIN	RIGHT SIDEFIN
*	[DEG]	[DEG]	[M]	[M]			
*AAAAAAAAAA	XXX.X	XX.X	XXXX.XX	XXXX.XX	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA
(2) north	360.	90.	3.	12.4	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(3) west	90.	90.	3.	7.3	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(4) south	180.	90.	3.	12.4	provolos	<NONE>	<NONE>
(1) east	270.	90.	3.	7.3	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(5) roof	0.	0.	7.3	12.4	<NONE>	<NONE>	<NONE>

HVAC.TYPES

* HVAC TYPE	HEATING SETPOINT	VENTING SETPOINT	COOLING SETPOINT	HEATING CAPACITY	VENTING CAPACITY	COOLING CAPACITY	COOLER COIL
*	[C]	[C]	[C]	[KW]	[AC/H]	[KW]	[C]
*AAAAAAAAAA	SSS.SSS	SSS.SSS	SSS.SSS	XXXX.XXX	XXX.XX	XXXX.XXX	XX.X
(1) hvac2	<NONE>	<NONE>	cooling	<ADEQ>	<ADEQ>	<ADEQ>	12.8
(2) hvac	<NONE>	<NONE>	27.	<ADEQ>	<ADEQ>	3.51	12.8

WALL.TYPES

* WALL TYPE	LAYER # 1	LAYER # 2	LAYER # 3	LAYER # 4	LAYER # 5	LAYER # 6
*AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA
(1) extconc	plaster	CON20	polstrin5	plaster	<NONE>	<NONE>
(2) extwall	plaster	touvlo	polstrin5	touvlo	plaster	<NONE>
(3) intconc	plaster	intCON15	plaster	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(4) intwall	plaster	intouvlo	plaster	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(5) patoma	plakaki	plaster	polstrin5	intCON15	<NONE>	<NONE>
(6) intporta	wood	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(7) porta	wood	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(8) orofi	swlinas	plaster	CON20	LWConc	polstro17	<NONE>
(9) WaterSur	WaterMat	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(10) underWAT	swlinas	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>	<NONE>
(11) OrofiXwr	plaster	CON20	LWConc	polstro17	<NONE>	<NONE>

MASS.TYPES

* MASS TYPE	CONDUCTIVITY	DENSITY	SPECIFIC HEAT	THICKNESS	NODES
*	[W/M-C]	[KG/CM]	[KJ/KG-C]	[M]	
*AAAAAAAAAA	X.XXXX	XXXX.XXX	X.XXXX	XX.XXXX	XX.
(1) CON20	1.28	2100.	0.82	0.20	5.
(2) WaterMat	0.70	1000.	4.18	0.0393	1.
(3) touvlo	0.36	1300.	0.79	0.10	3.
(4) plaster	0.79	1570.	1.	0.025	1.
(5) intCON15	1.28	2100.	0.82	0.15	3.

Π2.6

coolJUN2.blg

SUNCODE V 6.0 BUILDING DESCRIPTION INPUT P 3

(6) intouvlo	0.36	1300.	0.79	0.10	2.
(7) LWConc	0.38	1200.	1.	0.07	2.
(8) wood	0.13	630.	1.36	0.05	1.
(9) polstrin5	0.041	25.	1.21	0.05	1.
(10) polstrol7	0.029	20.	1.21	0.07	1.
(11) plakaki	0.85	1900.	0.78	0.015	1.
(12) swlinas	9.99	8900.	0.512	0.002	1.

GLAZING.TYPES

* GLAZING TYPE	GLAZING U VALUE [W/SM-C]	SHADING COEF. [FRAC]	EXTINCTION COEF. [1/MM]	INDEX OF REFRACTION [NONE]	THICKNESS OF LAYER [MM]	NUMBER OF LAYERS
*AAAAAAAAAA	SS.SSSSS	SS.SSSSS	X.XXXX	X.XXXX	X.XXXX	XX.
(1) double	3.26	1.0	0.016	1.5260	4.	2.
(2) kourtina	3.26	0.5	0.016	1.5260	4.	2.

OVERHANG.TYPES

* OVERHANG TYPE	VERTICAL OFFSET [M]	HORIZONTAL PROJECTION [M]
*AAAAAAAAAA	XX.XX	XX.XX
(1) provolos	0.	1.5

OUTPUTS

* OUTPUT TYPE	TIME PERIOD [H/D/M]	UNITS [E/M]	OUTPUT SEASON	BUILDING ELEMENT	OUTPUT SECTION	FORMAT? [Y/N]
*AAAAAAAAAA	A	A	AAAAAAAAAA	XXXX.	XXXX.	A
(1) ZONES	H	M	DAYS2	1.	6.	N
(2) WALLS	H	M	DAYS2	3.	1.	N
(3) ZONES	H	M	DAYS2	2.	6.	N
(4) WALLS	H	M	DAYS2	<ALL>	1.	N
(5) AMBIENT	H	M	DAYS2	1.	1.	N
(6) ZONES	H	M	DAYS2	1.	4.	N
(7) ZONES	H	M	DAYS2	1.	5.	N
(8) WALLS	H	M	DAYS2	4.	1.	N
(9) ZONES	H	M	DAYS2	2.	5.	N
(10) ZONES	H	M	DAYS2	2.	3.	N

SCHEDULES

*SCHEDULE	SEASON	HR	VALUE	HR	VALUE	HR	VALUE	HR	VALUE
*AAAAAAAAAA	AAAAAAAAAA	XX.	XXXX.XXX	XX.	XXXX.XXX	XX.	XXXX.XXX	XX.	XXXX.XXX
(1) intgain	YEARall	9.	0.6	20.	0.3				
(2) latgain	YEARall	9.	0.3						
(3) infilng	YEARsum	9.	1.	20.	6.				
(4) cooling	DAY11	1.	99.99	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(5) cooling	DAY11	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(6) cooling	DAY11	9.	19.59	10.	19.61	11.	19.63	12.	19.65
(7) cooling	DAY11	13.	19.67	14.	19.69	15.	19.70	16.	19.71
(8) cooling	DAY11	17.	19.71	18.	19.71	19.	19.71	20.	19.66
(9) cooling	DAY11	21.	19.62	22.	19.60	23.	19.57	24.	19.53

П2.7

coolJUN2.blg

SUNCODE V 6.0		BUILDING DESCRIPTION INPUT								P 4
(10)	cooling	DAY12	1.	99.99	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(11)	cooling	DAY12	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(12)	cooling	DAY12	9.	19.59	10.	19.62	11.	19.64	12.	19.66
(13)	cooling	DAY12	13.	19.68	14.	19.70	15.	19.72	16.	19.73
(14)	cooling	DAY12	17.	19.73	18.	19.73	19.	19.72	20.	19.69
(15)	cooling	DAY12	21.	19.66	22.	19.63	23.	19.61	24.	19.58
(16)	cooling	DAY13	1.	19.57	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(17)	cooling	DAY13	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	19.57
(18)	cooling	DAY13	9.	19.62	10.	19.65	11.	19.67	12.	19.68
(19)	cooling	DAY13	13.	19.71	14.	19.72	15.	19.73	16.	19.73
(20)	cooling	DAY13	17.	19.74	18.	19.73	19.	19.72	20.	19.67
(21)	cooling	DAY13	21.	19.65	22.	19.62	23.	19.59	24.	19.57
(22)	cooling	DAY14	1.	19.54	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(23)	cooling	DAY14	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	19.58
(24)	cooling	DAY14	9.	19.62	10.	19.65	11.	19.67	12.	19.69
(25)	cooling	DAY14	13.	19.71	14.	19.73	15.	19.74	16.	19.74
(26)	cooling	DAY14	17.	19.74	18.	19.73	19.	19.73	20.	19.68
(27)	cooling	DAY14	21.	19.64	22.	19.61	23.	19.60	24.	19.58
(28)	cooling	DAY15	1.	19.56	2.	19.54	3.	99.99	4.	99.99
(29)	cooling	DAY15	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(30)	cooling	DAY15	9.	19.60	10.	19.63	11.	19.65	12.	19.67
(31)	cooling	DAY15	13.	19.68	14.	19.70	15.	19.71	16.	19.72
(32)	cooling	DAY15	17.	19.72	18.	19.71	19.	19.71	20.	19.66
(33)	cooling	DAY15	21.	19.63	22.	19.60	23.	19.58	24.	19.55
(34)	cooling	DAY16	1.	99.99	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(35)	cooling	DAY16	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(36)	cooling	DAY16	9.	19.58	10.	19.61	11.	19.63	12.	19.65
(37)	cooling	DAY16	13.	19.67	14.	19.69	15.	19.70	16.	19.71
(38)	cooling	DAY16	17.	19.71	18.	19.70	19.	19.69	20.	19.64
(39)	cooling	DAY16	21.	19.61	22.	19.60	23.	19.57	24.	19.56
(40)	cooling	DAY17	1.	19.54	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(41)	cooling	DAY17	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(42)	cooling	DAY17	9.	19.58	10.	19.61	11.	19.64	12.	19.65
(43)	cooling	DAY17	13.	19.67	14.	19.69	15.	19.70	16.	19.71
(44)	cooling	DAY17	17.	19.71	18.	19.70	19.	19.69	20.	19.63
(45)	cooling	DAY17	21.	19.61	22.	19.58	23.	19.56	24.	99.99
(46)	cooling	DAY18	1.	99.99	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(47)	cooling	DAY18	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(48)	cooling	DAY18	9.	19.57	10.	19.59	11.	19.61	12.	19.64
(49)	cooling	DAY18	13.	19.65	14.	19.67	15.	19.69	16.	19.68
(50)	cooling	DAY18	17.	19.69	18.	19.68	19.	19.67	20.	19.62
(51)	cooling	DAY18	21.	19.59	22.	19.55	23.	99.99	24.	99.99
(52)	cooling	DAY19	1.	99.99	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(53)	cooling	DAY19	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(54)	cooling	DAY19	9.	19.55	10.	19.58	11.	19.60	12.	19.61
(55)	cooling	DAY19	13.	19.64	14.	19.65	15.	19.67	16.	19.68
(56)	cooling	DAY19	17.	19.68	18.	19.68	19.	19.66	20.	19.61
(57)	cooling	DAY19	21.	19.56	22.	99.99	23.	99.99	24.	99.99
(58)	cooling	DAY20	1.	99.99	2.	99.99	3.	99.99	4.	99.99
(59)	cooling	DAY20	5.	99.99	6.	99.99	7.	99.99	8.	99.99
(60)	cooling	DAY20	9.	99.99	10.	19.56	11.	19.58	12.	19.60
(61)	cooling	DAY20	13.	19.62	14.	19.64	15.	19.65	16.	19.66
(62)	cooling	DAY20	17.	19.66	18.	19.66	19.	19.65	20.	19.60
(63)	cooling	DAY20	21.	19.57	22.	99.99	23.	99.99	24.	99.99

Π2.8

coolJUN2.blg

SUNCODE V 6.0

BUILDING DESCRIPTION INPUT

P 5

SEASONS

* SEASON	START DATE	STOP DATE	DAY OF WEEK
* NAME	MON DAY	MON DAY	[ALL/M-F/S-S]
*AAAAAAAA	AAA XX.	AAA XX.	AAA
(1) YEARall	JAN 1.	DEC 31.	ALL
(2) YEARsum	MAY 1.	SEP 30.	ALL
(3) DAY11	JUN 11.	JUN 11.	ALL
(4) DAY12	JUN 12.	JUN 12.	ALL
(5) DAY13	JUN 13.	JUN 13.	ALL
(6) DAY14	JUN 14.	JUN 14.	ALL
(7) DAY15	JUN 15.	JUN 15.	ALL
(8) DAY16	JUN 16.	JUN 16.	ALL
(9) DAY17	JUN 17.	JUN 17.	ALL
(10) DAY18	JUN 18.	JUN 18.	ALL
(11) DAY19	JUN 19.	JUN 19.	ALL
(12) DAY20	JUN 20.	JUN 20.	ALL
(13) DAYS2	JUN 11.	JUN 20.	ALL

STATIONS

* STATION	LAT.	LONG.	ELEV.	FILENAME	DATA	UNITS	-START-	-STOP--
* NAME	[DEG]	[DEG]	[M]		TYPE	[E/M]	MON DAY	MON DAY
*AAAAAAAAAA	XX.XX	XXX.X	XXXXX.	AAAAAAAAAAAA	X.	A	AAA XX.	AAA XX.
(1) SALONICA	40.38	22.6	10.	SALONICA.DAT	3.	M	JAN 1.	DEC 31.

TIME STEPS/HOUR = 48

INPUT FILENAME : coolJUN2

UNFORMATTED OUTPUT: coolJUN2

OUTPUT FILENAME : coolJUN2 nt

BUILDING SUMMARY STATISTICS

BUILDING HEAT LOSS RATE: AMBIENT = 1435.0 W/C
 = 11.9083 W/C-(SM FLOOR AREA)
 GROUND = .0 W/C
 = .0000 W/C-(SM FLOOR AREA)

TOTAL BUILDING HEAT CAPACITY = 133323.8 KJ/C
 HEAT CAPACITY/AMBIENT LOSS RATIO = 25.8088 HOURS

ZONE ITERATION VIOLATION: NUMBER= 0 ERROR= .00
 TROMBE ITERATION VIOLATION:NUMBER= 0 ERROR= .00

Αρχείο αποτελεσμάτων

JUN 11 3, ZONE	1, Page-6,	1, 10,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.238307000E+02,	-.237669500E+02,	.239016400E+02,	.000000000E+00,
JUN 11 3, WALL	3, Page-1,	1, 8,	.200946400E+02,	.000000000E+02,	.000000000E+00,	-.336110900E+04,	.337599100E+04,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 11 3, ZONE	2, Page-6,	1, 10,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.195399900E+02,	-.195400000E+02,	.195400000E+02,	.000000000E+00,
JUN 11 3, WALL	1, Page-1,	1, 8,	.195447400E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.292132000E+02,	-.292324400E+02,	.292324400E+02,	.000000000E+00,
JUN 11 3, WALL	2, Page-1,	1, 8,	.244294200E+02,	.000000000E+02,	.000000000E+00,	.114697400E+04,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 11 3, WALL	3, Page-1,	1, 8,	.200946400E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	-.336110900E+04,	.337599100E+04,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 11 3, WALL	4, Page-1,	1, 9,	.196353500E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.587042800E+03,	-.618327800E+03,	.209600000E+02,	.209600000E+02,
JUN 11 3, WALL	5, Page-1,	1, 9,	.247871200E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.369987800E+03,	.369424800E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	6, Page-1,	1, 9,	.247866300E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.432389400E+03,	.432389400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	7, Page-1,	1, 9,	.247865800E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.332512100E+03,	.332161400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	8, Page-1,	1, 9,	.247863000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.432389400E+03,	.432389400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	9, Page-1,	1, 9,	.247863000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.432389400E+03,	.432389400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	10, Page-1,	1, 9,	.247863000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.432389400E+03,	.432389400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	11, Page-1,	1, 9,	.247863000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.432389400E+03,	.432389400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	12, Page-1,	1, 9,	.247863000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.432389400E+03,	.432389400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	13, Page-1,	1, 9,	.247863000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.432389400E+03,	.432389400E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	14, Page-1,	1, 8,	.244807900E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.153383300E+04,	.385807900E+04,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	15, Page-1,	1, 8,	.240055400E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.453715600E+03,	.453715600E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	16, Page-1,	1, 9,	.236342600E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.892856600E+03,	.892856600E+03,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, WALL	17, Page-1,	1, 9,	.246761200E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.330311200E+02,	.330311200E+02,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, AMBIEN	1, Page-1,	1, 6,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 11 3, ZONE	1, Page-4,	1, 8,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.325149400E+00,	.598711100E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 11 3, ZONE	1, Page-5,	1, 8,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 11 3, WALL	4, Page-1,	1, 9,	.186235300E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.587042800E+02,	-.618327800E+02,	.209000000E+02,	.209000000E+02,
JUN 11 3, ZONE	2, Page-5,	1, 9,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.111702300E+04,	.000000000E+00,	.100000000E+01,	.000000000E+00,
JUN 11 3, ZONE	2, Page-3,	1, 6,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.203613300E+00,	.584492200E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, ZONE	1, Page-6,	1, 10,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.267781300E+02,	-.266687500E+02,	.266687500E+02,	.000000000E+00,
JUN 19 14, WALL	3, Page-1,	1, 8,	.208034200E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.381195600E+03,	.574211900E+04,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, ZONE	2, Page-6,	1, 10,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.198599900E+02,	.198600000E+02,	.198600000E+02,	.000000000E+00,
JUN 19 14, WALL	1, Page-1,	1, 8,	.199567700E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.199198900E+02,	-.198084100E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, WALL	2, Page-1,	1, 8,	.266347000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.114994000E+04,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, WALL	3, Page-1,	1, 8,	.208034200E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.381195600E+03,	.574211900E+04,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, WALL	4, Page-1,	1, 9,	.199209900E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.735420000E+05,	-.374934000E+03,	.150566800E+04,	.574377800E+02,
JUN 19 14, WALL	5, Page-1,	1, 9,	.266012000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.908991400E+04,	-.232356900E+04,	.188307900E+04,	.380293800E+02,
JUN 19 14, WALL	6, Page-1,	1, 9,	.265644600E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.163914100E+03,	-.784063200E+03,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	7, Page-1,	1, 9,	.266751100E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.147395600E+03,	-.322735900E+04,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	8, Page-1,	1, 9,	.265468400E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.199492400E+03,	-.816806200E+03,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	9, Page-1,	1, 9,	.264446200E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.648272900E+03,	-.208910900E+03,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	10, Page-1,	1, 9,	.264285600E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.511805500E+04,	-.449875000E+03,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	11, Page-1,	1, 9,	.265139700E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.279646300E+04,	-.218658100E+03,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	12, Page-1,	1, 9,	.264141900E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.598865300E+04,	-.536182000E+03,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	13, Page-1,	1, 8,	.263190300E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.245235800E+03,	-.510945800E+03,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	14, Page-1,	1, 8,	.264595000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.581958700E+03,	-.101896700E+04,	.331313100E+02,	.331313100E+02,
JUN 19 14, WALL	15, Page-1,	1, 8,	.270029500E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.800510900E+02,	-.375770200E+02,	.389974300E+02,	.389974300E+02,
JUN 19 14, WALL	16, Page-1,	1, 9,	.288313000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.554016400E+03,	.102614500E+03,	.389974300E+02,	.389974300E+02,
JUN 19 14, WALL	17, Page-1,	1, 9,	.267250600E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.635613000E+05,	-.865023600E+03,	.418733400E+02,	.418733400E+02,
JUN 19 14, AMBIEN	1, Page-1,	1, 6,	.320300000E+04,	.350200000E+04,	.708181900E+03,	.350200000E+04,	.302000000E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, ZONE	1, Page-4,	1, 8,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.768744500E+03,	.266836900E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, ZONE	1, Page-5,	1, 8,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,
JUN 19 14, WALL	4, Page-1,	1, 9,	.199209900E+02,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.735420000E+05,	-.374934000E+03,	.150566800E+04,	.574377800E+02,
JUN 19 14, ZONE	2, Page-5,	1, 8,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.168810500E+04,	.000000000E+00,	.100000000E+01,	.000000000E+00,
JUN 19 14, ZONE	2, Page-3,	1, 6,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,	-.396246600E+02,	.254737900E+00,	.000000000E+00,	.000000000E+00,